

NOSITEL
VYZNAMENÁNÍ
ZA BRANNOU
VÝCHOVU
I. A II. STUPNĚ



ŘADA B PRO KONSTRUKTÉRY

ČASOPIS PRO ELEKTRONIKU
A AMATÉRSKÉ VYSÍLÁNÍ
ROČNÍK XXXIV/1985 • ČÍSLO 1

V TOMTO SEŠITĚ

Svazarm a politicko-
výchovná práce 1

MĚŘICÍ PŘÍSTROJE A MĚŘENÍ (dokončení z AR B6/84)

2.9 Několik poznámek
k zapojování OZ 4

3. Amatérská konstrukce a výroba měřicích přístrojů 6

3.1 Shromažďování a
evidence podkladů 6

3.2 Volba zapojení a
experimentální ověření 7

3.3 Návrh konstrukčního
řešení 9

3.4 Zhotovování mechanických
dílů a desek s plošnými
spojí 13

4. Skladebná řada

přístrojových skříní 14

Poznámky k použití
a montáži 16

5. Přístroje ve skříních

podle kap. 4 17

5.1 Měřič kapacity
a indukčnosti 17

Základní technické údaje 17

Princip zapojení 17

Popis činnosti 17

Konstrukční provedení 19

Nastavení 23

5.2. Stabilizovaný zdroj 25

Základní technické údaje 25

Popis zapojení 25

Stavba přístroje 29

Nastavení 29

5.3 Číslicový panelový
voltmetr 31

Měřicí přístroje pro
školní výuku a zájmové
technickou činnost 33

AMATÉRSKÉ RADIO ŘADA B

Vydává ÚV Svazarmu ve vydavatelství NAŠE VOJSKO,
Vladislavova 26, 133 66 Praha 1, tel. 26 06 51-7. Šéfredak-
tor ing. Jan Klábal, redaktor Luboš Kalousek, OK1FAC. Re-
dakční radu řídí ing. J. T. Hyán.

Redakce Jungmannova 24, 113 66 Praha 1, tel. 26 06 51-7,
šéfredaktor linka 354, redaktor linka 353, sekretářka linka
355. Ročně vyjde 6 čísel. Cena výtisku 5 Kčs, pololetní
předplatné 15 Kčs. Rozšiřuje PNS, v jednotkách ozbroje-
ných sil vydavatelství NAŠE VOJSKO, administrace Vladi-
slavova 26, Praha 1. Objednávky přijímá každá pošta i doru-
čovatel. Objednávky do zahraničí vyřizuje PNS, ústřední
expedice a dovoz tisku, závod 01, Katkova 9, 160 00 Praha 6.

Tiskne NAŠE VOJSKO, n. p., závod 08, 160 05 Praha 6,
Vlastina ulice č. 889/23.

Za původnost a správnost příspěvku odpovídá autor. Ná-
vštěvy v redakci a telefonické dotazy pouze po 14. hodině.
Číslo indexu 46 044.

Toto číslo má vyjít podle plánu 5. 2. 1985.

© Vydavatelství NAŠE VOJSKO

SVAZARM A POLITICKOVÝCHOVNÁ PRÁCE

Plnění náročných úkolů Svazu pro spo-
lupráci s armádou závisí, mimo jiné, i na
politické vyspělosti a uvědomělosti jeho
členů. Významnou úlohu plní v tomto
směru politickovýchovná práce, která je
ve Svazarmu rozvíjena jako cílevědomá,
soustavná a účinná politická práce, jejímž
předpokladem je jednota ideové výchov-
né a organizační činnosti, uskutečňo-
vané prostřednictvím politické agitace,
branné propagandy, životem ve svazar-
movských organizacích a veškerou svaz-
armovskou činností.

Cílem politickovýchovné práce je:
- výchova členů Svazarmu, zejména mlá-
deže, v třídně uvědomělé a politicky
vyspělé, přesvědčené budovatele a ob-
ránce socialistické vlasti - socialistické
vlastence a internacionalisty.

- posilovat jednotu politické a odborné
činnosti, dosahovat užšího sepětí indi-
viduálních a skupinových zájmů členů
Svazarmu s celospolečenskými zájmy
- upevňovat vědomí odpovědnosti za
efektivní využívání materiálních a fi-
nančních prostředků, za správný vztah
ke společnému majetku a svěřeným
hodnotám, více působit na dodržování
socialistické zákonnosti, prohlubování
znalostí právních norem a na jejich
uskutečňování

- vytvářet u všech občanů vědomí, že
obrana socialistické vlasti je záležitostí
všeho lidu a její spolehlivost závisí
především na morální politických kva-
litách každého jednotlivce
- propagovat výsledky práce naší organi-
zace a seznamovat veřejnost s branným
posláním Svazu pro spolupráci
s armádou.

Politickovýchovná práce v základních
organizacích Svazarmu, klubech, krouž-
cích a sportovních družstvech zabezpe-
čuje jednotu ideové politické, pracovní,
mravní, technické, odborné a branné pří-
pravy. Využívá zájmu, dobrovolnosti a ak-
tivity, s jakou mládež i dospělí přistupují
k různým zájmovým branným činnostem
a vede je k realizaci celospolečenských
potřeb.

Seznamuje členy organizace s poslá-
ním a úkoly Svazarmu ve společnosti
a získává je pro jejich plnění. Provádí mezi
členy Svazarmu a občany brannou propa-
gandu a agitaci, popularizuje poslání
a úkoly ČSLA. V úzké součinnosti s ostat-
ními společenskými organizacemi se po-
dílí na masové politické práci a na plnění
volebních programů Národní fronty.

Napomáhá rozvoji politických a bran-
ných vlastností členů Svazarmu, působí
na formování morálních a volných vlast-
ností. Rozvíjí jejich socialistický způsob
života, soudružské vztahy a kolektivnost,
učí je spolupráci, obětavosti a společen-
ské odpovědnosti, vede je k čestnosti
a cílevědomosti v jednání.

Politickovýchovná práce s mládeží se
podílí na jejím formování v generaci, pro
kterou se socialismus stává smyslem ži-
vota a obrana socialistické vlasti věcí cti
a uvědomělé občanské povinnosti. Upev-
ňuje u mládeže pozitivní citový vztah ke
Komunistické straně Československa,
třídní chápání jevů a událostí a vychovává
ji k socialistickému vztahu k práci a k
vlastnostem, které charakterizují socialis-
tického člověka, budovatele a obránce
vlasti.

Za základní kritéria hodnocení účin-
nosti politickovýchovné práce je třeba
považovat:

- stupeň osvojení si branného obsahu
vědeckého světového názoru, způsob

myšlení a jednání, postoj k socialis-
tickému zřízení a internacionální citění
- vztah ke Komunistické straně Česko-
slovenska, přesvědčení o správnosti
její vnitřní, zahraniční a vojenské politi-
ky i úkolů, které z ní vyplývají pro
Svazarm, aktivní přístup k jejich reali-
zaci, socialistický vztah k práci a společ-
enskému vlastnictví
- úroveň politické bdělosti, nesmiřiteln-
nosti s buržoazní ideologií a s třídním
nepřítelem
- aktivní vztah ke svazarmovské organi-
zaci, konkrétní výsledky v branné anga-
žovanosti, pracovní a společenské akti-
vité, úsilí o zvyšování kvalifikace v bran-
né odbornosti, podíl na agitační a pro-
pagandistické činnosti
- dodržování požadavků socialistické
morálky a způsobu života, jednoty slov
a činů.

Svazarmovské orgány i základní orga-
nizace věnují soustavnou pozornost práci
se svazarmovským tiskem a časopisy.
Cílevědomě jich využívají k politickový-
chovné práci, především v klubové zájmo-
vé činnosti a ve výcvikových střediscích
branců. Trvale pečují o zvyšování odběru
tisku i o práci s aktivem dopisovatelů.
Soustavně sledují a propagují vojenský
tisk. Pravidelně spolupracují s redakcemi
krajských a okresních novin i s dalšími
sdělovacími prostředky, včetně místního,
školního a závodního rozhlasu. Systema-
ticky využívají pořadů Čs. televize a Čs.
rozhlasu s brannou tematikou. Aktivně se
podílejí na propagaci branné výchovy
a činnosti Svazarmu v těchto prostřed-
cích.

Základní organizace uskutečňují poli-
tickovýchovnou práci v rámci své organi-
zace a na veřejnosti.

Pečují o ideové politický růst svých
členů, funkcionářů a branné výchovných
pracovníků.

Vtiskují veškeré činnosti ideové vý-
chovný obsah a branný charakter, usilují
o účinný branný výchovný vliv na občany,
zejména mládež, v okruhu své působnosti.
Věnují mimořádnou pozornost politic-
kovýchovné práci s brancí.

Rozmanitými formami masové politic-
ké práce, zejména politickou agitaci, or-
ganizují politickovýchovné působení na
své členy a další občany. Uskutečňují
branné politické školení členů, filmové
a audiovizuální pořady v součinnosti
s kluby elektroakustiky a videotechniky,
přednášky s brannou tematikou, besedy,
kvízy, večery otázek a odpovědí. Usilují
o zvyšování ideového obsahu a výchovné-
ho zaměření členských schůzí, branné
masových soutěží, závodů, memoriálů
a dalších akcí, jako branné dny, branné
pochody, ideové branné soutěže, ukázky
svazarmovské činnosti, výstavy ze života
branné organizace apod. Provádějí indivi-
duální agitační práci. Využívají názorných
materiálů a moderních technických pro-
středků (diaprojektorů, promítacích pří-
strojů, magnetofonů apod.).

Organizováním politickovýchovné prá-
ce se v základní organizaci zpravidla
pověřuje místopředseda. Ve velkých zá-
kladních organizacích se ustavují politic-
kovýchovné komise, které výboru pomá-
hají při politickovýchovné práci. V zájmo-
vých klubech, kroužcích a výcvikových

střediscích provádějí politickovychovnou práci branně výchovni pracovníci, zejména cvičitelé a trenéři.

Výbor základní organizace Svazarmu

se ve své činnosti opírá o pomoc příslušných orgánů a organizací KSČ a těsně spolupracuje se společenskými organizacemi, národními výbory a s vedoucími

závodů (škól, družstev). Podílí se na tvorbě a realizaci jednotných plánů kulturně výchovné činnosti národních výborů.

MĚŘICÍ PŘÍSTROJE A MĚŘENÍ

Ing. Jiří Horský, CSc., ing. Petr Zeman, ing. Ladislav Škapa

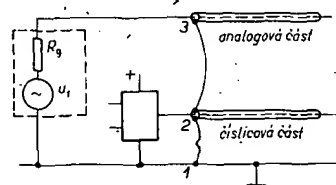
(Dokončení z AR B6/84)

*Měřit vše, co je měřitelné,
a co není měřitelné měřitelným učinit.*

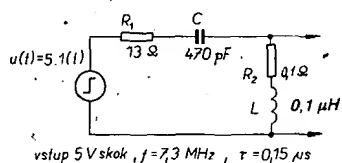
Galileo Galilei

10. Je třeba pečlivě prověřit, kudy se uzavírá dráha pro rušivý signál mezi stíněním a zemí. Obr. 139 ukazuje nevhodný způsob spojení stínění dvou systémů, analogového a číslicového, se zemí. Je-li např. na výstupu číslicového obvodu TTL skok napětí 5 V, výstupní odpor hradla 13 Ω , kapacita sousedního vodiče mezi vnitřním vodičem a pláštěm 470 pF a spojení tohoto vodiče se zemí 1-2 má např. odpor 0,1 Ω a indukčnost 0,1 μ H, pak v bodě 2 se překlopení hradla projeví tlumenými kmitoťmi o kmitočtu 7,3 MHz s počáteční amplitudou 5 V. Náhradní zapojení obvodu je na obr. 140.

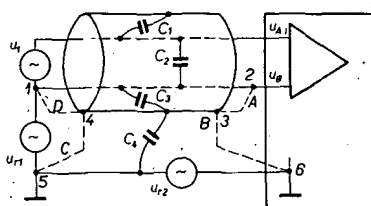
Uvedené zásady pro stínění se nesmí aplikovat mechanicky. Každý případ je třeba analyzovat a najít optimální řešení na základě pochopení vlastností a činnosti obvodu.



Obr. 139. Nevhodným spojením různých stínění může do stíněného prostoru proniknout rušivý signál



Obr. 140. Náhradní zapojení pro příklad podle obr. 139.



Obr. 141. Příklad k diskusi hledání správné možnosti připojení stínění

Příklad řešení je na obr. 141. Je na něm neuzemněný zdroj U_1 , který má proti zemi rušivé napětí U_{r1} a měřicí systém s diferenčním vstupem (U_A a U_B), spojený se zemí (např. přes síťovou šňůru při přístroji v bezpečnostní třídě I). Parazitní kapacity jsou označeny C_1 , C_2 , C_3 a C_4 . Stínění propojovacího kabelu můžeme připojit čtyřmi způsoby:

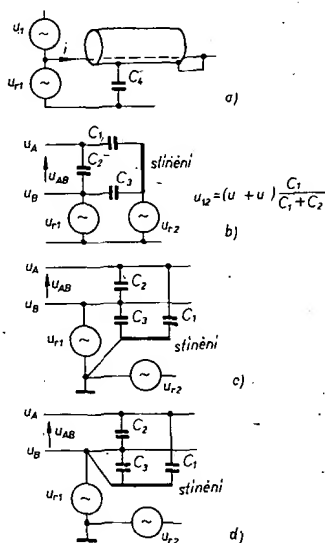
A – se společnou svorkou 2 na straně měřidla;

B – se zemní svorkou 6 na straně měřidla;

C – se zemní svorkou 5 na straně zdroje;

D – se společnou svorkou 1 na straně zdroje.

Všechny čtyři případy jsou na obr. 142.



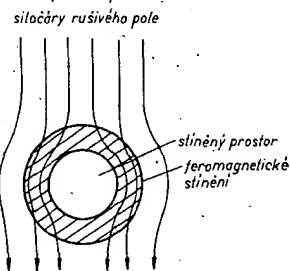
Obr. 142. Náhradní zapojení k obr. 141

V případě A prochází rušivý proud z U_{r1} přes 1-2-3- C_4 -5 v úseku 1-2 společně se signálem. Varianta A je nevhodná. Při variantě B – U_{r1} a U_{r2} v sérii se vytváří přes C_3 , C_1 a C_2 rušivé napětí U_{12} . C – má obdobné účinky jako případ B; D – je optimální varianta.

Magnetické stínění

Stínění proti vlivu magnetických polí je podstatně obtížnější než stínění proti vlivu elektrických polí. Plášť stíněného vodiče uzemněný na jedné straně má dobrý stínicí účinek proti elektrickému poli, ale malý nebo žádný proti poli magnetickému. Máme-li obvod citlivý na střídavé

magnetické pole (např. cívka na vstupu zesilovače), můžeme jej odstínit od vnějšího elektromagnetického pole vložením do uzavřeného krytu, který brání vstupu rušivého pole do stíněného prostoru. Kryt může být vytvořen magneticky vodivým materiálem nebo materiálem magneticky nevodivým, ale elektricky vodivým. Magneticky vodivý materiál působí při stejnosměrném i střídavém magnetickém poli tím, že svede siločáry magnetického pole mimo chráněný prostor (obr. 143). Mag-



Obr. 143. Feromagnetické stínění vytěsňuje siločáry rušivého magnetického pole ze stíněného prostoru.

netické stínění je tím účinnější, čím větší permeabilitu má stínicí materiál. Magneticky vodivý kryt nesmí být ve směru napříč siločarám přerušen, aby vzduchová mezera nezmenšila účinnost stínění.

Při magnetickém poli vyšších kmitočtů je možné nahradit magneticky vodivý materiál stínění materiálem elektricky vodivým. Elektromagnetické pole vnikající do plošného vodiče indukuje v něm vířivé proudy, které svými magnetickými účinky brání vnějšímu poli vniknout do hloubky vodivého materiálu.

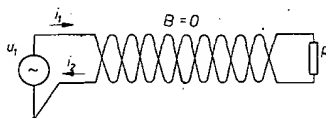
Stínicí účinek vůči elektromagnetickému poli v plném materiálu charakterizujeme hloubkou vzniku δ , označující vzdálenost, ve které se v příslušném materiálu zmenší původní magnetická indukce B na 37 % z indukce ve volném prostoru (viz tabulka). Závisí na elektrické vodivosti materiálu a na odmocnině kmitočtu. Čím je hloubka vzniku menší, tím tenčí plech postačí k dosažení stejných stínicích účinků krytu.

Kmitočet f	Hloubka vzniku δ [mm]		
	měď	hliník	železo
100 Hz	6,6	8,5	0,66
1 kHz	2,1	2,7	0,02
10 kHz	0,66	0,84	0,08
100 kHz	0,2	0,3	0,02
1 MHz	0,08	0,08	0,008

Převážná většina rušivých magnetických polí vzniká na síťovém kmitočtu a jeho násobcích. Jak plyne z tabulky, je pro tyto kmitočty nutno používat ke stínění feromagnetické materiály pokud možno s velkou permeabilitou (nesmí však dojít k jejich nasycení vlivem silných magnetických polí, pak by ztratily své výhodné vlastnosti).

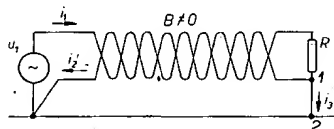
Při navrhování nového přístroje dbáme na to, aby přístroj nebyl zdrojem nežádoucího rušení a byl vůči cizím magnetickým polím necitlivý. Proto se snažíme dodržovat následující zásady:

1. Citlivé obvody umísťujeme co nejdále od zdrojů rušivých magnetických polí (síťových transformátorů).
2. Citlivé vodiče vedeme tak, aby naindukované napětí bylo co nejmenší, tj. rovnoběžně s magnetickými siločarami.
3. Výkonové vedení k zátěži, které může být zdrojem rušivého magnetického pole, je vhodné vést zkroucenými vodiči – twist (obr. 144). Vzájemně opačný proud



Obr. 144. Správné spojení neuzemněné zátěže se zdrojem, které nevyvolává v okolí rušivé magnetické pole

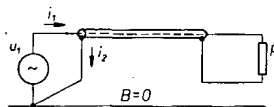
v obou vodičích a zkroucení vodičů způsobí kompenzaci magnetického pole pro každý závit. Nesmí však být vytvořena žádná jiná paralelní vodivá cesta. Nesprávné provedení je na obr. 145. Spojením 1–2 vznikne nesymetrie, zemním spojením teče proud $i_3 = i_1 - i_2$ a kompenzační účinek zkroucení vodičů se zmenší.



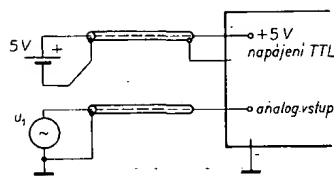
Obr. 145. Jsou-li zdroj i zátěž samostatně uzemněny, teče přes 1–2 rozdílový proud a kompenzace pole zkroucením vodičů není úplná

Spojení 1–2 nemusí být jen přímé, podobně působí např. i nesymetrie kapacity zátěže. Ke zmenšení parazitních nesymetrií se doporučuje vést zkroucené vodiče těsně podél zemní plochy a dodržovat minimální velikost plochy možných parazitních smyček.

4. Pro vedení signálů velkých úrovní je vhodné použít souosý kabel (obr. 146). V tomto případě se nejedná o stínění, jak bylo popisováno dříve, ale o kompenzaci magnetického pole, vznikajícího průchodem proudů. Příklad použití souosého vedení pro stínění a kompenzaci rušení je na obr. 147. Pro napájení logických obvodů TTL (5 V) je použit souosý kabel, připojený na obou koncích, aby bylo zabráněno vyzařování vlivem spínacích jevů. Pro citlivé obvody je užít souosý stíněný vodič.



Obr. 146. Vedeme-li výkon k zátěži souosým kabelem, nevzniká vlivem procházejícího proudu žádné rušivé pole vně kabelu



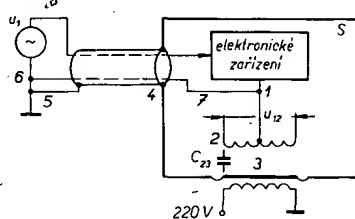
Obr. 147. Příklad připojení citlivého analogového vstupu a výkonového napájecího zdroje zařízení. Z napájecího zdroje pro TTL mohou téci značné proudy, které by mohly být zdrojem rušení pro citlivé analogové obvody. Proto je zdroj připojen souosým kabelem, u něhož je plášť použit jako zpětný vodič. Analogový vstup je připojen souosým kabelem spojeným se zemí pouze na straně vstupu.

5. Indukované napětí je úměrné ploše smyčky a její orientaci ke zdroji rušení. Plochu smyčky omezíme co nejvíce zmenšováním rozměrů a vzdáleností použitých vodičů. Orientaci pole můžeme ovlivnit umístěním vedení a zdrojů rušení (natočením transformátorů apod.).

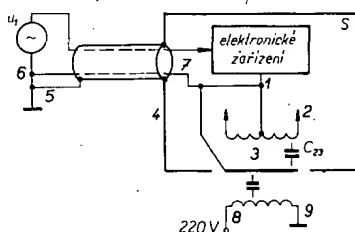
Stínění síťových transformátorů

Převážná část elektronických zařízení je napájena síťovým napětím. Po síti se však šíří nejen napájecí napětí, nezbytné pro provoz všech zařízení, ale i poruchy a rušivé signály. Elektronické zařízení obvykle obsahuje síťový transformátor, který má mezi primárním a sekundárním vinutím kapacitu řádu desítek až stovek pF. Tato kapacita je možným vstupem rušení do zařízení. Omezit její vliv můžeme stíněním. Nejjednodušší stínění je jedna vrstva drátu nebo fólie mezi primárním a sekundárním vinutím transformátoru. Umožňuje zmenšit kapacitu mezi vinutími na méně než 10 pF.

Dále lze kapacitu zmenšit o 1 až 2 řády dokonalejším provedením stínících krytů okolo vinutí. Pozor, stínění nesmí tvořit závit nakrátko, aby neovlivňovalo magnetické vlastnosti transformátoru, ale pouze zmenšovalo kapacitní vazbu mezi vinutími. Na obr. 148 přístroj v kovové skříni, se stíněním a jádrem síťového transformátoru spojenými se skříní.

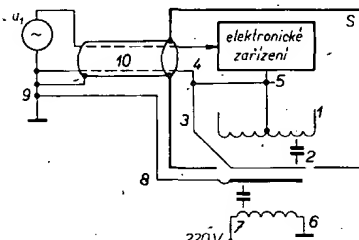


Obr. 148. Transformátor může do přístroje přenášet rušení ze sítě. Použijeme-li jedno stínění, prochází napětí ze sekundárního obvodu 1–2 přes kapacitu C_{23} do stínění a smyčka se uzavře signálovým vodičem 6–7



Obr. 149. Ani připojením stínění do bodu 1 neodstraníme průchod nežádoucího signálu signálovými vodiči

Sekundární napětí U_{12} vyvolá přes kapacitu C_{23} proud smyčkou 1–2–3–4–5–6–7–1. Rušivý proud protéká spolu se signálem vodičem 6–1, což nelze připustit. Zkusme proto stínění 3 zapojit do bodu 1, aby rušivý proud protékal pouze smyčkou 1–2–3–1 (obr. 149). V tomto případě se však projeví kapacita mezi primárním vinutím a stíněním a proud protéká smyčkou 9–8–3–7–6–9 (a společně se signálem vodičem 7–6). Ani tento případ není příznivý. Optimální výsledky dává užití dvou stínění, které se užívá u citlivých přístrojů (obr. 150).

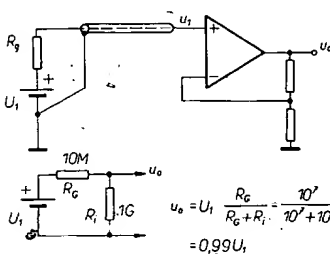


Obr. 150. Použití dvou stínění odstraní možnost pronikání parazitního rušení přes síťový transformátor

Rušivé proudy protékají smyčkami 1–2–3–4–5 a 6–7–8–9–6 mimo vodiče, kterými prochází signál.

Ekvipotenciální stínění

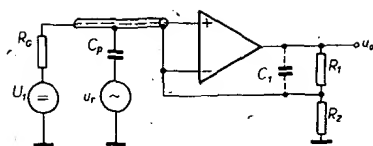
Připojíme-li na stínění potenciál stejný, jako má chráněný vodič ve stíněném prostoru, napájený ze zdroje s malou impedancí, získáme cenné výhody. Zmenší se proud izolační vodivosti stínění, čehož lze využít při návrhu obvodů s velkou vstupní impedancí. Na obr. 151 je stíněný obvod s velkým vstupním odporem.



Obr. 151. Při měření na zdrojích s velkým vnitřním odporem omezují izolační odpory dosažitelný vstupní odpor, způsobují chyby a nestability měření

rem. Použijeme-li pro oddělovací zesilovač Z_1 zesilovač s FET na vstupu a velkým vstupním odporem, např. MAC155, závisí celkový vstupní odpor ve značné míře na izolaci, čistotě, teplotě a vlhkosti vstupního kabelu a desky s plošnými spoji, na níž je zesilovač umístěn. Vstupní odpor obvodu se vlivem nedokonalé izolace zmenšuje a není stabilní. Vstupní kapacita je zvětšena o kapacitu mezi jádrem a pláštěm použitého souosého vodiče.

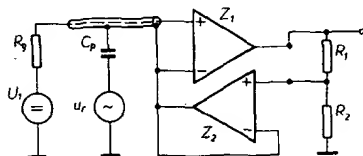
Podstatně jiná situace nastane, připojíme-li okolí neinvertujícího vstupu zesilovače a vstupní kabel na stejné napětí, jaké je na vstupu – obr. 152. Toto napětí je k dispozici na vývodu zpětné vazby na invertující vstup. Mezi středním vodičem a stíněním kabelu v tomto případě není napětí, to znamená, že neteče proud



Obr. 152. Připojením stínění na stejný potenciál, jako je měřený, zvětšíme podstatně vstupní odpor a zmenšíme vstupní kapacitu

a podstatně se tedy zvětší vstupní odpor. Obdobně se zmenší vstupní kapacita. Parazitní vlastnosti jsou podstatně potlačeny. Protože připojením se zvětšila kapacita paralelně k R_2 (obr. 152), je vhodné dělit R_1 a R_2 kompenzovat kondenzátorem paralelně k R_1 .

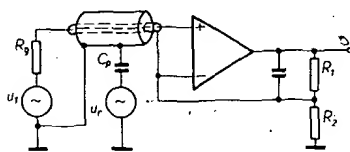
Na aktivním stínění se nesmí projevit rušivé napětí z vnějšího elektrického pole. Dobrého stínicího účinku vůči vnějšímu elektrickému poli je možno dosáhnout, má-li zdroj pomocného napětí, na něj je stínění připojeno, malý vnitřní odpor. Na obr. 153 je např. jako pomocný zdroj pro stínění použit „rychlý“ oddělovací stupeň s malým výstupním odporem.



Obr. 153. V zapojení podle obr. 152 je stínění napájeno ze zdroje s vnitřním odporem rovným $R_1 \parallel R_2$. Tento odpor můžeme řádově zmenšit napájením stínění přes oddělovací zesilovač Z_2 . Na velmi malé výstupní impedanci zesilovače Z_2 nevyvolá rušivé napětí u_r působící přes parazitní kapacity C_p úbytek napětí, který by mohl mít vliv na vstupní obvod Z_1

Jinou možností je použít další vnější stínění (obr. 154).

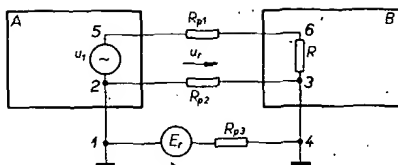
Vnitřní stínění působí jako aktivní ekvipotencionální stínění, vnější stínění chrání vnitřní stínění vůči účinkům vnějšího rušivého pole.



Obr. 154. Potlačit vliv rušení můžeme bez užití Z_2 na obr. 153 dalším stíněním, připojeným ke společné svorce. Vnější stínění brání pronikání rušení na aktivní stínění

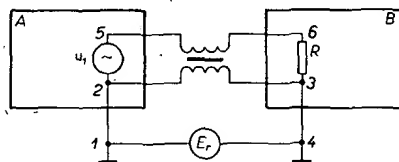
Souosé tlumivky

Kovové skříně přístrojů, napájených ze sítě, jsou přes síťové příводы spojeny se zemí. Při tom většinou svorka nulového potenciálu přístroje bývá spojena s kovovou kostrou přístroje. Spojíme-li takové dva přístroje mezi sebou, vznikne zemní smyčka ze síťových přípojek a zemních spojů v cestě signálu (obr. 155). Smyčka má malou impedanci a velkou plochu. Nejsou-li oba přístroje napájeny z jedné síťové rozvodky, rozměry smyčky se ještě



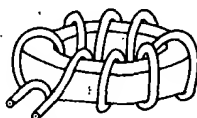
Obr. 155. Spojením síťovými šňůrami 1–2 a 3–4 se sítí v vzájemným propojením 2–3 se vytváří zemní smyčka, v níž se na odporu přívodů R_{p2} může projevit rušivý signál

podstatně zvětší. Zemní smyčkou obvykle protéká indukovaný rušivý proud. Může to být např. proud indukovaný rozptylovým magnetickým polem transformátoru do uzavřené zemní smyčky, nebo proud způsobený filtračními kondenzátory v síťových přívodech, tedy proud o kmitočtu 50 Hz. Dále to může být rušivý proud zemními obvody vznikající ve výkonovém stupni některého z přístrojů, tedy s kmitočtem odlišným od kmitočtu sítě. Jeho vliv znázorňuje zdroj E_r . Úbytek napětí u_r na vodiči 2–3 (obr. 156) může při citlivých měřeních způsobit chybu měření (např.

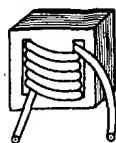


Obr. 156. Zařazením souosé tlumivky vřídíme do smyčky 1–2–3–4 impedanci, omezující velikost nežádoucího rušivého proudu, při čemž pro proud tekoucí smyčkou 2–3–4–6–5 se vliv tlumivky neprojeví a neovlivní signálový obvod

při měření velmi malého nelineárního zkreslení). V takových případech je vhodné použít souosou tlumivku, obr. 157 a 158.



Obr. 157. Příklad provedení tlumivky na toroidním jádře



Obr. 158. Pro nízké kmitočty (50 Hz) jsou toroidní jádra s velkou permeabilitou obtížně dostupná. Pro vinutí souosé tlumivky lze použít i transformátorové jádro

Mezi přístroji A – B na obr. 156 je dvou vodičové vedení, vytvářející cestu pro přenos signálu. Toto vedení (nejčastěji je to souosý kabel) navineme na jádro s velkou magnetickou vodivostí. Volba materiálu jádra závisí na kmitočtu rušivých proudů, protékajících zemními spoji. Při síťovém nebo nízkofrekvenčním rušení je nejvhodnější jádro z permalloye, při vyšších kmitočtech vyhoví ferit.

Pro nižší kmitočty se snažíme navinout na jádro co nejvíce závitů, u vysokých kmitočtů může pomoci i jediný průvlek kabelu feritovým kroužkem. Pokud nepoužijeme magnetické jádro, vzniká uspořádání podle obr. 155. Zdroj rušivého

napětí u_r může vzniknout např. průtokem parazitních síťových proudů zemními vodiči nebo vnějším elektromagnetickým polem, indukujícím napětí u_r do smyčky zemnicích spojů.

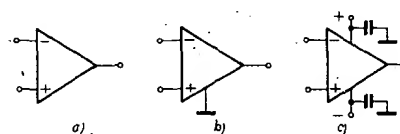
Použijeme-li uspořádání s magnetickým jádrem, vznikne zapojení naznačené na obr. 156. Vinutí souosým kabelem vytváří vlastně transformátor s převodem 1:1, jehož primární vinutí je tvořeno uzemněným pláštěm kabelu, sekundární vinutí tvoří vnitřní vodič kabelu, přenášející užitečný signál. Rušivé napětí u_r mezi konci primárního vinutí se přetransformuje do sekundárního vinutí a mezi svorkami 3–6 se neprojeví. Předpokladem správné funkce je, že reaktance primárního vinutí na kmitočtu rušení je podstatně větší než odpor zemní smyčky.

Popsaného principu souosé tlumivky z obr. 146 je možno využít i uvnitř složitějšího přístroje, tvořeného několika funkčními bloky. Je však nutno vždy uvážit, že tento princip může pomoci jen tam, kde se uplatňuje rušení jímající ve smyčce s malou impedancí. Je-li např. rušení způsobeno nedokonalým stíněním obvodu s velkou impedancí, je použití souosé tlumivky neúčinné.

2.9 Několik poznámek k zapojování operačních zesilovačů

V článcích 2.7 a 2.8 byly ukázány vlivy nežádoucích prvků a vazeb v reálných obvodech a některé metody jejich omezení. V této kapitole probereme podrobněji některé méně známé vlastnosti a způsob potlačování z nich vyplývajících nedostatků pro nejrozšířenější používané lineární aktivní součástky – operační zesilovače. Pochopení zákonitostí a vlastností součástek v navrženém obvodu odstraní experimentální ověřování (popř. tápání) a podstatně zkrátí dobu potřebnou pro optimalizaci obvodu. Vždy je nutno nezapomínat na základní princip, který můžeme formulovat velmi jednoduše: Promyslete, kudy protéká proud!

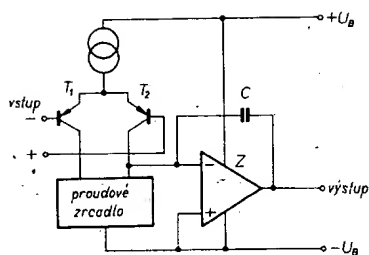
Podívejme se např. na ideální operační zesilovač podle obr. 159a. Má tři svorky. Ideální zesilovač má 2 vstupní svorky s nekonečnou vstupní impedancí a dokonalým potlačením soufázového signálu.



Obr. 159. Operační zesilovač není trojpol, jak se obvykle kreslí (a), ale dvojbran podle (b). Společnou svorku většinou nahrazují vývody napájení (c)

Výstupní svorka má určité napětí (ale proti čemu?) a protéká jí proud do zátěže (ale odkud?). Ze zapojení se nám vytratila společná svorka (obr. 159b).

Proti této svorce měříme výstupní napětí a protéká jí výstupní proud. Převážná většina skutečných operačních zesilovačů však tuto svorku nemá. Výstupní proud je dodáván kladným, záporným nebo oběma napájecími zdroji (obr. 159c). Nejsou-li však výstupní impedance obou napájecích zdrojů proti zemi malé v celém kmitočtovém rozsahu operačního zesilovače, mohou vzniknout potíže s vlastnostmi zesilovače. Na obr. 160 je překreslené základní spojení operačních zesilovačů řad 741 a 748.



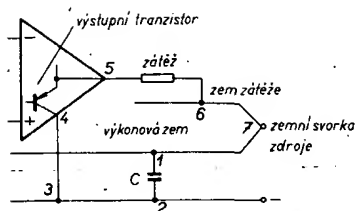
Obr. 160. Zjednodušené zapojení skutečného operačního zesilovače (řady 741)

Diferenční vstupní napětí se převádí na jednočinný signál vůči zápornému napájecímu zdroji ve vstupní části zesilovače, skládající se z diferenciální dvojice T_1, T_2 (p-n-p) a proudového zrcadla (proudového opakovatele). Výstupní zesilovač Z je zapojen jako integrátor; kapacita C může být součástí zesilovače (MAA741) nebo je připojována vně (MAA748). Ve skutečnosti má tento integrátor dvě vstupní svorky. Invertující, tvořená bázi příslušného tranzistoru, je připojena na proudové zrcadlo, neinvertující, emitor téhož tranzistoru, je připojena přímo na přívod záporného napájecího zdroje. Změní-li se napětí záporného zdroje (např. skokem vlivem úbytku na vnitřním odporu odběrem jiného obvodu), zesilovač integrátoru přenáší tuto změnu ze své kladné vstupní svorky na výstup. Protože však celý zesilovač používáme ve zpětnovazebním zapojení, projeví se tato změna jako chybový signál a je vlivem zpětné vazby potlačena. To však platí pouze pro dostatečně pomalé změny napětí záporného napájecího zdroje. Rychlé změny, např. vlivem spínání výkonových obvodů, které nestačí zesilovač vlivem omezené rychlosti přeběhu potlačit, plně pronikají na výstup.

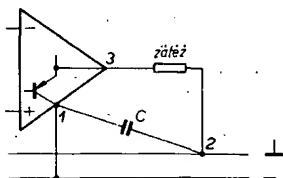
Potlačení vlivu změny napájecího napětí pro kladný napájecí zdroj se zmenšuje se zvyšujícím se kmitočtem, ale vliv malých změn napětí kladného zdroje je podstatně menší než u záporného zdroje. Tím je způsobena asymetrie v přechodové charakteristice zesilovače. Impuls kladné polarity na výstupu zesilovače znamená proudový impuls z kladného napájecího zdroje. Vlivem dobrého potlačení vlivu kladného napájecího zdroje je tvar impulsu určen vlastnostmi zesilovače a zdroj má minimální vliv na tvar výstupního impulsu. Naopak, impuls záporné polarity na výstupu zesilovače vyvolá impuls proudu ze záporného napájecího zdroje. Tento impuls vyvolá na vnitřní impedanci záporného napájecího zdroje zákrmit, který se přenesou na výstup zesilovače.

Jestliže kladný výstupní impuls ukázal přechodové vlastnosti zesilovače, záporný výstupní impuls ukazuje nejen přechodové vlastnosti, ale současně je zkreslen vlivem poruch na napájecích svorkách záporného zdroje. Vlivem vnitřní impedance záporného napájecího zdroje je tedy přechodová charakteristika pro impulsy kladné a záporné polarity různá.

Jak se impulsní rušení ze strany záporného napájecího zdroje může projevit na záporné napájecí svorce zesilovače, závisí na tom, které zdroje rušení obsahuje smyčka uzavřená přes vodivý výstupní tranzistor p-n-p zesilovače, zátěž a blokovací kondenzátor. Blokování v zapojení na str. 161 není účinné. Ve smyčce 1-2-3-4-5-6-7 je rušivý signál z vodiče 2-3 společného s jinými obvody přenášen přímo na zápornou napájecí svorku. V zapojení podle obr. 162 je smyčka 1-2-3 pro vliv složky proudu zátěže uzavřena nejkratším možným způsobem a kondenzátor C potlačuje vliv rušení z obvodů záporného zdroje.

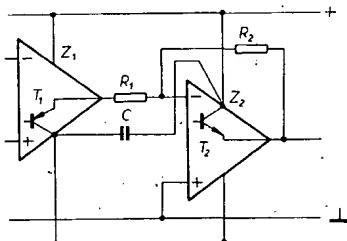


Obr. 161. Blokovací kondenzátor C v nevhodném místě není účinný

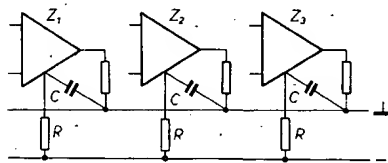


Obr. 162. Správné zapojení blokovacího kondenzátoru C

Složitější případ neuzemněné zátěže je na obr. 163. Zátěží zesilovače Z_1 je neuzemněný rezistor R_1 . Proudů přes T_1 ze záporného zdroje odpovídá proud přes T_2 z kladného zdroje. Kondenzátor C uzavírá nejkratší cestu mezi oběma zesilovači. Blokuje-li několik zesilovačů (Z_1, Z_2, \dots) tak, jako na obr. 164, vznikne z blokovacích kondenzátorů a indukčností přívodů, pokud jsou delší než několik cm, složitý obvod LC. Aby se potlačily nežádoucí parazitní rezonance v těchto obvodech, je vhodné zatlumit parazitní rezonance rezistory R s malými odpory podle obr. 164.



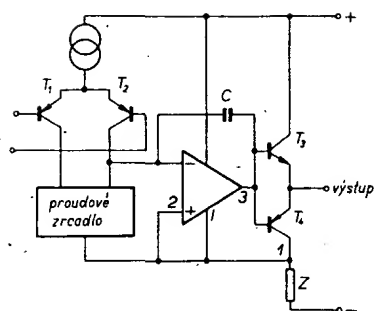
Obr. 163. Zapojení blokovacího kondenzátoru C pro neuzemněnou zátěž R_1



Obr. 164. Potlačení parazitních rezonancí v obvodech napájení rezistory R

Vliv blokování na kmitočtovou stabilitu zesilovače

Překreslíme-li zjednodušené zapojení operačního zesilovače podle obr. 160 a uvážíme samostatně i výstupní tranzistor T_3 a T_4 , pak podle obr. 165 vzniká při nenulové výstupní impedanci Z záporného napájecího zdroje parazitní zpětnovazební smyčka 1-2-3 z kolektoru výstupního tranzistoru p-n-p 1 do neinvertujícího vstupu 2 integrátoru 1. Na nízkých kmitočtech vliv této parazitní zpětné vazby neohroží stabilitu zapojení. Na vysokých kmitočtech závisí stabilita na charakteru reaktance zátěže a záporného napájecího zdroje.



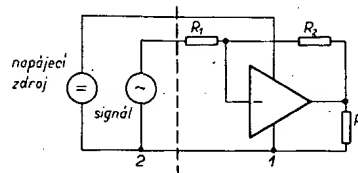
Obr. 165. Zanedbání blokování může vést k nestabilitě zesilovače

Má-li výstupní impedance Z záporného napájecího zdroje indukční charakter, může způsobit nestabilitu zesilovače. I z tohoto důvodu je třeba, aby byla napájecí svorka zdroje kvalitně blokována.

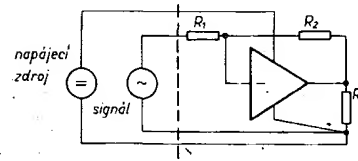
To, co jsme uvedli pro operační zesilovače řad 741, 748 a dalších pro záporný vývod zdroje, může pro některé typy zesilovačů, např. řady 108, platit i pro zdroj kladného napájecího napětí. U zesilovačů řady 725 je doporučen ze vstupu vnitřního integrátoru korekční člen AC proti zemi. Tím se však podstatně zvětší citlivost obvodu na rušení ze záporného zdroje. Tuto citlivost lze omezit připojením korekčního členu místo na zem na svorku přívodu záporného napájecího napětí.

Zemní spoje

Společný vodič většiny zapojení není skutečnou zemí. Úbytky na tomto vodiči způsobují nežádoucí vazby, jak bylo ukázáno v článku 2.6. Zopakujeme si připojení zdroje – obr. 166 a obr. 167. Na obr. 166



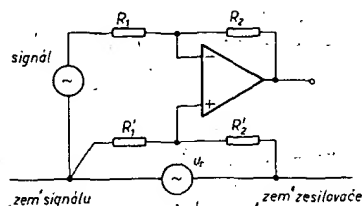
Obr. 166. Nesprávné připojení napájecího zdroje



Obr. 167. Správné připojení napájecího zdroje

protéká na signálový vstupní i napájecí a výstupní obvod proud společným vodičem 1-2. Úbytky napětí na jeho vnitřním odporu se přímo sčítají se vstupním signálem. Na obr. 167 je přívod signálového a zdrojového společného potenciálu oddělen a k vzájemnému ovlivňování nedochází. Ještě lépe je vidět oddělení signálové a zdrojové země u složitějšího zapojení na obr. 168. V některých případech je možné potlačit rušivý signál mezi vstupní signálovou a výstupní zemní svorkou zesilovače tím, že rušivý signál převedeme na soufázovou složku vstupního signálu

Obr. 168. Omezení vazeb zavedením signálové a výkonové země



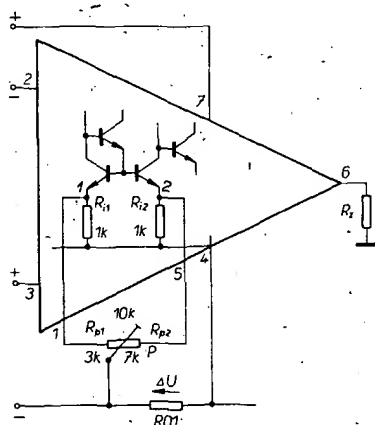
Obr. 169. Potlačení rušení převedením na soufázovou složku

rozdílovým zapojením zesilovače podle obr. 169.

Další vstupní svorky

Většina typů operačních zesilovačů obsahuje svorky pro nulování offsetu. Tyto svorky jsou dalšími vstupními svorkami zesilovače. Jejich ss napětí je obvykle posunuto proti nulové úrovni a impedan- ce většinou menší než na „pravých“ vstu- pech. Citlivost na signál, přivedený na tyto svorky, může však být značná. Např. ope- rační zesilovače řady 741 mají asi dvakrát větší zesílení z nulovacího než z „pra- vého“ vstupu.

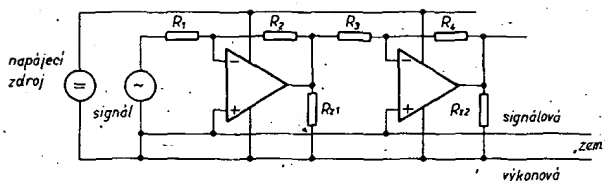
Všimněme si zapojení podle obr. 170. Bude-li běžec potenciometru P přibližně



Obr. 170. Svorky pro nulování tvoří další citlivý vstup operačního zesilovače. Úbytek ΔU na odporu přívodů způsobí nelineární zkreslení signálu

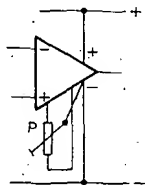
uprostřed dráhy tak, aby můstek R_{p1} , R_{p2} , a R_{11} , R_{12} byl vyvážen, má signál ΔU na vstupech 1 a 2 stejnou velikost, působí tedy jako soufázový signál bez rozdílové složky. Jeho vliv na zesilovač je v tomto případě zanedbatelný.

Jiné poměry nastanou, vyvážíme-li po- tenciometrem P offset zesilovače. Běžec již nebude uprostřed. R_p bývá obvykle 10 k Ω , pro ukázkou zvolíme např., že vynulo- vání offsetu odpovídá $R_{p1} = 3$ k Ω a $R_{p2} = 10$ k Ω . R_{11} a R_{12} mají odpor 1 k Ω . V tomto případě již můstek R_{p1} a R_{p2} , R_{11} , R_{12} není vyvážen a v úhlopříčce 1-2 se objeví signál $1/4 \Delta U$. Vzhledem k dvojnásobné- mu zisku z nulovacích svorek se projeví signál $1/2 \Delta U$ mezi vstupními svorkami.



ΔU je určeno hlavně velikostí odběru zesilovače ze záporného zdroje. Koncový stupeň zesilovače pracuje ve třídě B. To znamená, že odebírá proud ze záporného zdroje pouze při záporné půlvlně výstup- ního napětí. Výsledkem je tedy nelineární zkreslení výstupního signálu, jehož příči- nu bychom bez pochopení předchozích souvislostí obtížně hledali.

Obr. 171 ukazuje správné zapojení běž- ce potenciometru P pro nulování offsetu: přímo na zápornou napájecí svorku zesi- lovače tak, aby byla potlačena probíraná nepříznivá závislost.



Obr. 171. Správné připojení běžce poten- ciometru nulování offsetu

3. Amatérská konstrukce a výroba elektronických měřicích přístrojů

Ve srovnání s průmyslovou praxí musí elektronik-amatér při návrhu a stavbě elektronických (a nejen měřicích) přístro- jů spojit v jedné osobě řadu profesí – vývojového pracovníka, konstruktéra, de- signera, technologa, mechanika, che- mika...

Rozvoj poznání, získání praktických i teoretických znalostí, zkušeností a návy- ků je to nejcněnější, co přináší zájmové technická činnost společnosti i jednotlivci. Jejich uplatnění v praxi je pak jedním z nejučinnějších prostředků účasti v roz- voji elektronizace národního hospodář- ství.

Popišme si vybrané pracovní metody, postupy a zkušenosti, které nám mohou pomoci zlepšit úroveň práce při návrhu a zhotovení elektronických přístrojů.

3.1 Shromažďování a evidence podkladů

Řada elektroniků se zejména na počá- ku své činnosti zaměřuje na stavbu nej- různějších přístrojů podle dostupných návodů. Usilují o získání návodů co mož- ná nejuplněnějších a z další literatury vystačí většinou jen s katalogem polovodičových prvků.

Dříve nebo později však mnozí z nich dospějí do stavu, kdy je pouhé kopírování neuspokojuje. Začínají obvody upravovat, doplňovat a nakonec i sami navrhovat. Nezbytným předpokladem je proces po- znání, pochopení činnosti základních ob- vodů i celých zapojení, rozvíjení znalostí podle současného stavu techniky. Z toho plyne neustálá potřeba získávat množství technických informací a současně je i uchovávat a evidovat.

Protože mnohé z dále uvedených ná- měst a postupů mají uplatnění pro elek- troniky nejrozumnějšího zaměření, varujeme je – sbírejte, podle svého užšího zájmu,

jen to, co skutečně potřebujete. Jinak na vlastní kůži poznáte, co je to informační exploze.

Zaměřujeme se zejména na odborné časopisy, knihy, katalogy, uživatelskou a servisní dokumentaci výrobků, katalogy součástek a dílů, aplikační brožury výrobců apod. Neomezujeme se jen na tuzem- skou literaturu. Právě potřeba práce se zahraniční odbornou literaturou přivádí elektroniky k nanejvýš užitečnému kroku – uvědomělému studiu cizích jazyků. Předčasné obavy nejsou na místě – brzy zjistíme, že porozumět odbornému textu je mnohem snazší, než třeba rozhovor s cizincem.

Časopisy

Ani elektronik-amatér se neobejde bez pravidelných informací, poskytovaných periodickým tiskem. Od určitého stupně vědomostí doporučujeme každému ode- bírat časopis Amatérské rádio – „červe- nou řadu“. A. Tématicky zaměřená čísla „modré řady“ si zpočátku pořizujeme tehdy, když se zabýváme oblastí našeho užšího zájmu (např. nf technika, TV tech- nika, měřicí technika apod.).

Nepodceňujeme možnost získat celkem snadno sovětský časopis Radio, který vedou vybrané prodejny PNS. Je zajímavý jak obsahem, tak cenou 3,80 Kčs. Poslou- ží nejen jako zdroj inspirace, ale i k rozší- ření znalostí ruského jazyka – včetně nové odborné terminologie, kterou často slovníky ještě neobsahují.

Pokročilejší elektronici sledují speciali- zované tuzemské i zahraniční časopisy. Kromě náhodných koupí a zápůjček se nabízí využít síte státních (technických) knihoven. Časopisy zásadně nepoškozujeme vpisováním ani vystřihováním. Přechováme je ve vázacích složkách. Nej- větší hodnotu pro nás mají ucelené roční- ky. Kromě ukládání do složek si lze celé ročníky nechat svázat v knihafských pro- vozovnách. Z hlediska ceny a úspory místa je nejvhodnější brožovaná vazba. Ve svázaném ročníku se lépe hledá, není možné ztratit jednotlivý výtisk časopisu, snadněji se skladuje.

Na druhé straně není uvedené řešení nejvhodnější, chceme-li stavět některou z uveřejněných konstrukcí, protože musíme pracovat s celým svazkem. Tomu můžeme cílevědomě předcházet. Jestliže se při koupi časopisu setkáme s konstruk- cí, kterou chceme později realizovat, je výhodné pořídit si časopis ve dvou výtis- cích, jeden uschováme, z druhého použi- jeme text návodu nejdříve pro stavbu a potom pro zpracování dokumentace výrobku. V tomto případě můžeme z textu bez obav vystřihovat obrázky stupnic o- vládacích prvků a měřidel, popsaných panelů, ale i samotných schémát, umísti- jeme-li je do přístroje (lze je např. lepit na vnitřní stranu odnímatelných krytů).

Knihy

Knihy s odborným zaměřením vycháze- jí především v Nakladatelství technické literatury (SNTL, Praha) a bratislavském nakladatelství ALFA. Zájemci se mohou stát členy Klubu čtenářů technické litera- tury (KČTL). Informace poskytnou prodej- ny knih. Výhodou členství, které je bez- platné a jehož jedinou podmínkou je objednat či nakoupit knihy v hodnotě min. 50 Kčs z vybraných nakladatelství, jsou poskytované informace o připravovaných a vydaných knihách, možnost objednávek v předstihu podle ročních edičních plánů a při odběru v hodnotě vyšší než 120 Kčs nárok na 15% členskou prémii. Kromě nákupu knih můžeme opět využívat stát- ních knihoven.

Technická dokumentace

Podle oblasti zájmu a možností sbíráme zejména instrukční knížky, servisní návody, katalogy a aplikační brožury. Některé materiály jsou předmětem obchodní a reklamní činnosti na výstavách a veletrzích, jiné (např. servisní návody tuzemských výrobků spotřební elektroniky, katalogy polovodičových součástek a konstrukčních prvků) přicházejí do maloobchodního prodeje. Ojediněným činem na poli poskytování technických informací bylo vydání Katalogu elektronických součástek, konstrukčních dílů, bloků a přístrojů 1983/1984 podnikem TESLA ELTOS. První díl katalogu obsahuje na 784 stranách adresář podniků a institucí, spadajících pod federální ministerstvo elektrotechnického průmyslu, katalogové údaje aktivních součástek, pasivních součástek, konstrukčních součástek a dílů a materiálů, konektorů, spínačů, kabelů a vodičů, baterií, akumulátorů a zdrojů. I přes poměrně značnou cenu (125 Kčs), danou rozsahem publikace, je velkým pomocníkem pokročilejších elektroniků.

Druhý díl obsahuje údaje konstrukčních stavebnic, čidel, akčních členů a převodníků, motorů, selsynů, mikropočítačů + periférií, měřicích přístrojů a zařízení a konečně na závěr nové výrobky a inovace z výrobních programů 1984.

Užitečné informace z literatury si buď přepisujeme a překreslujeme (případně kopírujeme), nebo si poznamenáváme jejich krátkou charakteristiku a pramen, abychom se k nim mohli podle potřeby vrátit.

Zpočátku nám pro záznamy vystačí obyčejný sešit bez linek, do něhož si překreslujeme zajímavá zapojení. Později však potřebných záznamů přibývá a uvedený způsob evidence již nevyhoví, protože není přehledný a záznamy nelze třídit do skupin. Jen částečnou pomocí je několik sešitů, každý na určitou skupinu záznamů.

Podstatně dokonalejší, avšak i pracnější, je kartotékový systém. Kartičky velikosti přibližně poloviny pohlednice získáme z archu polokartonu, kládkového nebo kreslicího papíru formátu našeho časopisu tak, že delší rozměr postupně půlíme (až na 8 dílů).

Používáme je především pro kartotéky:

- drobných zajímavých zapojení,
- pramenů složitějších zapojení obvodů, přístrojů a zařízení,
- pramenů zajímavých teoretických článků a publikací,
- katalogových údajů součástek a dílů.

Dále můžeme stejným způsobem vést kartotéku programů pro programovatelné kalkulátory a mikropočítače, popř. adres, telefonních čísel a otevíracích dob různých prodejen atd.

Příklady záznamů na kartičky jsou na obr. 172.

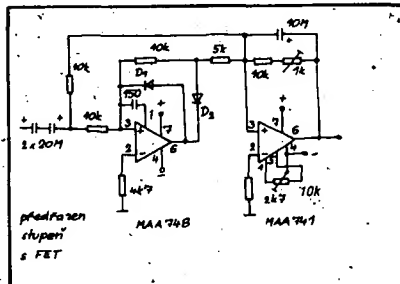
Na čelní stranu kartičky si značíme název, jméno autora (je-li uvedeno), úplný pramen (jde-li o přetisk i původní pramen) a krátkou poznámku se základními údaji, s vyznačením toho, co je pro nás zajímavé. Jednoduchá schémata a další údaje značíme přímo na zadní stranu kartičky, u složitějších si značíme, zda a kam jsme je překreslili, popř. kam jsme uložili zhotovenou kopii. K tomu doporučujeme vést několik tematicky zaměřených sloh nebo sešitů.

Na kartičky si zhotovíme z papírových krabic úložné pořadače, do nichž je ukládáme rozříděné např. tematicky, obvody – oscilátory a generátory – nf oscilátory – harmonické oscilátory – oscilátory AC atd.

Vraťme se však ještě k drobným zajíma-

*Lineární usměrňovač pro
číslicový multimetr
Kellner J.: Amatérské radio
86/83, str. 233 obr. 5
Klasické zapojení celotřínního
usměrňovače, zapimari kom-
penzace u MAA 748 → pracuje
do 100 kHz*

a)



b)

*Demodulátor FM a fázovým nářezem
Eichler J.: Elektronický rádiový elektronický
nářezník, SNTL Praha, 1983, str. 316, 317
Klasické - CA3089E + BF451, 100 radíon
varikapem, harmonické zkreslení
pod 0,1%, výstup asi 100 mV, napá-
jení 12V
Přir. gnamení Phase locked Loop..., IEEE
Trans. on Consumer Electronics,
únor 1976, str. 94 až 98*

c)

Obr. 172. Ukázka zápisu do evidenční kartičky; a) záznam zajímavého zapojení v časopise, b) zadní strana kartičky a), c) záznam o zajímavém obvodu v knize

vým zapojením. Vtipná jednoduchá zapojení patří ke čtenářsky nejoblíbenějším náplním časopisů. Naleznete je v časopise Amatérské radio, v sovětském Radiu, Sdělovací technice (rubrika „Drobnosti z praxe a literatury“). Některé zahraniční časopisy jako Electronic Engineering, Electronic Design mají nejen pravidelnou rubriku – Design Ideas – ale např. pravidelně odměňují autory nejvtipnějších konstrukcí.

Sbírání zajímavých zapojení má velký význam pro vlastní tvůrčí činnost a doporučujeme je i těm, kteří chtějí elektroniku studovat.

Naše školství, včetně elektrotechnických fakult, poskytuje solidní teoretický základ, obvykle však nevěnuje dostatek prostoru rozvíjení citu pro nápadité obvodové řešení. Ti absolventi, kteří se do té doby nevěnovali zájmově-technické činnosti, se k úspěšnému použití svých teoretických poznatků zpracovávají podle možnosti a schopnosti za kratší či delší dobu, až v praxi. Zájemcům, kteří se chtějí zajímavým a vtipným zapojením více věnovat, mohou být vděčným vzorem vynálezy, které splňují dvě základní podmínky – novost a vyšší účinek proti dosavadnímu stavu. K tomu stačí prolistovat příslušné kapitoly periodik Izobretenie (SSSR), případně Official-Gazette (USA) ve státní technické knihovně. Téměř u každého záznamu je zde schéma zapojení, které obvykle postačí k pochopení činnosti obvodu.

3.2 Volba zapojení a experimentální ověření

Volba zapojení

Stavba elektronických přístrojů a zařízení je činnost náročná nejen na vědomosti, ale i na čas a prostředky. Zvažujeme proto důkladně, jakých vlastností chceme dosáhnout a jaké pro to máme možnosti.

Při výběru, úpravě či návrhu zapojení bereme v úvahu zejména:

- požadované parametry,
- obvodové řešení,
- výběr součástek,
- odolnost proti poškození,
- bezpečnostní požadavky.

Požadované parametry, ať již při výběru nebo návrhu zapojení, volíme střídavě, úměrně k našim znalostem a k charakteru přístroje a jeho využití. Nepodložené požadavky na větší přesnost měřícího přístroje vedou k neúměrnému růstu nákladů, aniž by se při běžném užití zvětšila jeho užitná hodnota. Příkladem může být měření indukčnosti. Budeme-li chtít měřit indukčnosti cívek s přesností $\pm 1\%$, znamená to, že musíme měřit s poměrně velkou přesností reálnou i imaginární část impedance (ztrátový odpor i indukčnost). Zatímco na nízkých kmitočtech lze ještě zajistit měření na kvalitních sériově vyráběných přístrojích, na vyšších kmitočtech uvedené požadavky splňují jen speciální měřicí aparatury.

Měřicí přístroj s takovými požadavky je prakticky v amatérských podmínkách ne realizovatelný. V běžných zapojeních přitom rozptýl parametrů ostatních prvků obvodu spolu s parazitními jevy znalost indukčnosti cívky s velkou přesností zcela znehodnotí. Podstatně větší význam má rychlost měření s přiměřenými nároky na přesnost – příkladem je měřič kapacity a indukčnosti, který bude popsán v další kapitole.

Při převážné většině prací v amatérské praxi vystačíme s měřením elektrických veličin s přesností kolem 10% . Z toho vychází i koncepce modulové řady, popsané v kapitole 1. V modulech proto můžeme většinou použít běžné a tím i cenově dostupné prvky. A co je neméně důležité – lze je nastavit pomocí dostupných přístrojů.

Postavíme-li si 3,5místný číslicový voltmetr a nenastavíme-li jej podle zásad, uvedených v kap. 2 – metrologie, nemůžeme říci, že měříme napětí 1 V s přesností $0,1\%$, ale nanejvýš, že měříme s rozlišovací schopností 1 mV. Vidíme, že kritériem pro rozhodování má být i možnost nastavení.

Zvažujeme také, jak často budeme přístroj používat. Např. přístroj na měření mezního kmitočtu tranzistoru bude jistě používán méně často než univerzální voltmetr. Můžeme ho však postavit např. pro výběr tranzistorů ke konstrukci anténního předzesilovače, vlastní poučení a získání zkušeností, pro radost z technické tvorby. Účelu se pak bude přizpůsobovat obvodové a konstrukční řešení. V uvedeném případě zcela vyhoví jednoduchý přípravek s vnějším napájením, realizovaný však podle zásad v technice.

Univerzální napájecí zdroj, nf generátor a nf milivoltmetr budeme při soustavnější práci v nf technice potřebovat často a po dobu několika let. Volíme proto odpovídající obvodové a konstrukční řešení – dobré technické parametry, moderní sou-

částky, zástavbu do přístrojové skříně s uplatněním principů estetiky a ergonomie.

Při hledání obvodového řešení přístroje, který chceme realizovat, je vhodné vyhledat v literatuře několik řešení (např. s pomocí vlastních záznamů) a vzájemně je porovnat. Vyspělejší elektronici se pokusí o úpravu či vlastní návrh podle nejnovějších poznatků z literatury, vlastních konstrukčních, materiálových možností, požadavků a zkušeností. Tuto činnost považujeme za nejzajímavější a také nejdůležitější pro odborný růst elektronika – amatéra, pro rozvoj jeho teoretických znalostí a tvůrčích schopností.

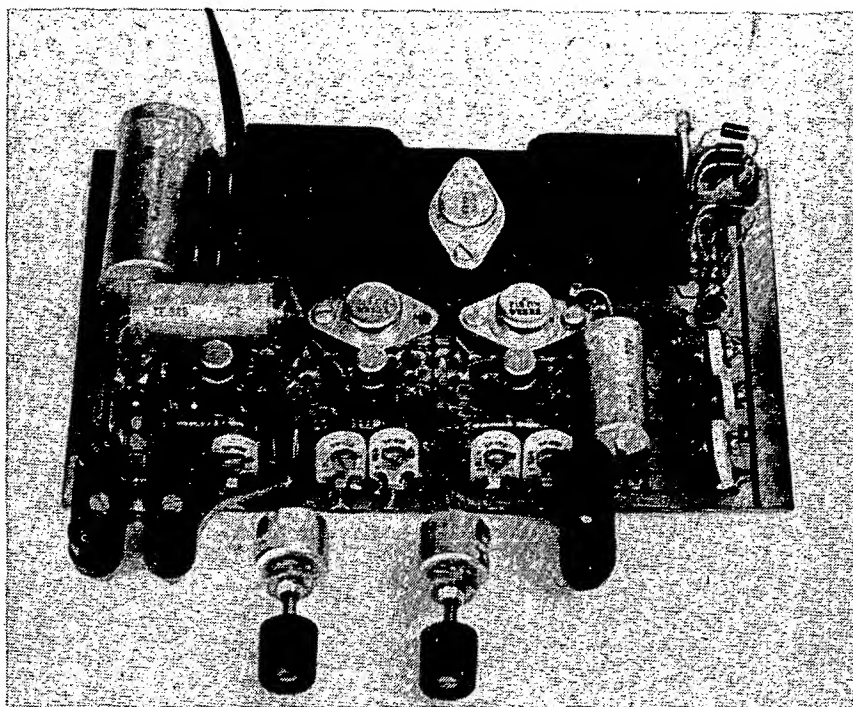
Novým prvkem v návrhu obvodů je použití výpočetní techniky, zejména programovatelných kalkulátorů a osobních počítačů. Elektronikům se díky jim stávají dostupné složité výpočty pro optimalizaci obvodů, vycházející z výpočtu amplitudových kmitočtových a přechodových charakteristik, návrhy obvodů, toleranční analýzy a další. Přehled programů uveřejněných v našem tisku přináší každoročně Ročenka sdělovací techniky.

Jedním ze základních činitelů ovlivňujících obvodové řešení je součástková základna. Její rozvoj patří k hlavním záměrům federálního ministerstva elektrotechnického průmyslu a dopad plnění jeho cílů jednak v dostupném sortimentu, jednak v cenách – především polovodičových součástek – se v posledních letech zásadně projevuje i v oblasti zájmové technické činnosti. Při stavbě elektronických přístrojů dáváme přednost obvodům s perspektivními součástkami. Jsou měřítkem moderního obvodového řešení a máme i záruku jejich dostupnosti.

Při současném příznivém vývoji cen nemají dnes opodstatnění nová zapojení se zastaralými typy diod, tranzistorů, integrovaných obvodů ani pasivních součástek a konstrukčních prvků. Výjimku tvoří ta zapojení, která jsou určena pro využití vyřazených a cenově velmi výhodných součástek v nenáročných aplikacích – zejména pro krátkodobá použití, pro pokusy, výuková zapojení určená k rozebírání. Je samozřejmé, že při vlastní stavbě starší typy součástek, které máme k dispozici, bez obav osazujeme do obvodů na pozice, kde neovlivňují funkčnost a základní parametry přístroje. Např. ve spínacím obvodu pro svítivou diodu – s tranzistorem připojeným k výstupu obvodu TTL – můžeme použít libovolný křemíkový tranzistor předepsané vodivosti.

Pokud však navrhujeme zapojení, které má být určeno i dalším elektronikům a to platí zejména pro publikování, vycházíme nejen z katalogových údajů, ale i z ceníku součástek. Sami se velmi často setkáváme s tím, že méně zkušené elektronici shánějí obtížně zastaralé součástky nebo kupují nepřiměřeně drahé typy, předepsané autorem jen proto, že je při ověřování zapojení právě měl „v šuplíku“.

Ke kvalitnímu obvodovému řešení patří odolnost proti poškození. Správně navržený přístroj nelze poškodit při jakékoli manipulaci s ovládacími prvky, vstupy a výstupy. Přihlížíme k tomu, že takový stav může nastat při neopatrné nebo neodborné manipulaci. To značí, že např. při libovolné kombinaci tlačítkových přepínačů se nesmí objevit v obvodech nedovolené stavy (a to ani v okamžiku přepínání), vstupní obvody musí být v definovaném rozsahu odolné proti přetížení, nesmí se poškodit výstupní obvody zkraty výstupů apod.



Obr. 173. Příklad pokusného zapojení zdroje z kap. 4 -

Připouštíme odolnost proti krátkodobému přetížení v případech, je-li nedovolený stav vhodným způsobem indikován tak, že můžeme předpokládat včasný a účinný zásah obsluhy.

Nezanedbatelnou součástí obvodového řešení je splnění bezpečnostních požadavků. V obvodech spojených se sítí je nepřipustná jakákoliv improvizace. Je nutné respektovat bezpodmínečné zásady uvedené v kap. 2. Jedná se především o propojení přístroje s ochrannými vodičem síťové přírůdky, o jištění síťového obvodu (zařazení tažné pojistky, dimenzování součástek v síťovém obvodu (odrušovací prvky), volbu prvků zajišťujících požadavky na izolaci mezi obvody pod síťovým napětím a ostatními obvody (síťové transformátory).

Kromě toho požadujeme, aby přístroj indikoval provozní a mimoprovozní stavy, aby se při poruše nějaké součástky nezničily i další součástky a obvody (otázka dimezování součástek, ochrana a jištění). Omezujeme výskyt nebezpečných napětí. Snažíme se volit taková zapojení, u nichž je minimum obvodů galvanicky spojených se sítí, protože takové obvody vyžadují nejen řadu opatření v konstrukčním provedení, ale i nutnost ověřit je ve zkušebnách.

Experimentální ověření

Ať již převzaté či vlastní zapojení, a to ani při hlubokých teoretických znalostech a rozsáhlém použití výpočetní techniky, není úplnou zárukou správnosti návrhu a optimálních parametrů. Proto zejména u nového vlastního řešení, u převzatého po úpravě, popř. při použití nepředepsaných součástí, celé obvody nebo jejich části experimentálně ověřujeme. Ověření má zásadní význam v dalším postupu prací. Jen jim dosáhneme toho, že složité a časově velmi náročné operace, jakými jsou celkové konstrukční řešení a návrh desek s plošnými spoji, nepřijdou nazmar a jen s minimálními úpravami přinesou úspěch při realizaci přístroje. Zapojení ověřujeme pokusným sestavením obvodů na univerzálních zkušebních deskách s plošnými spoji.

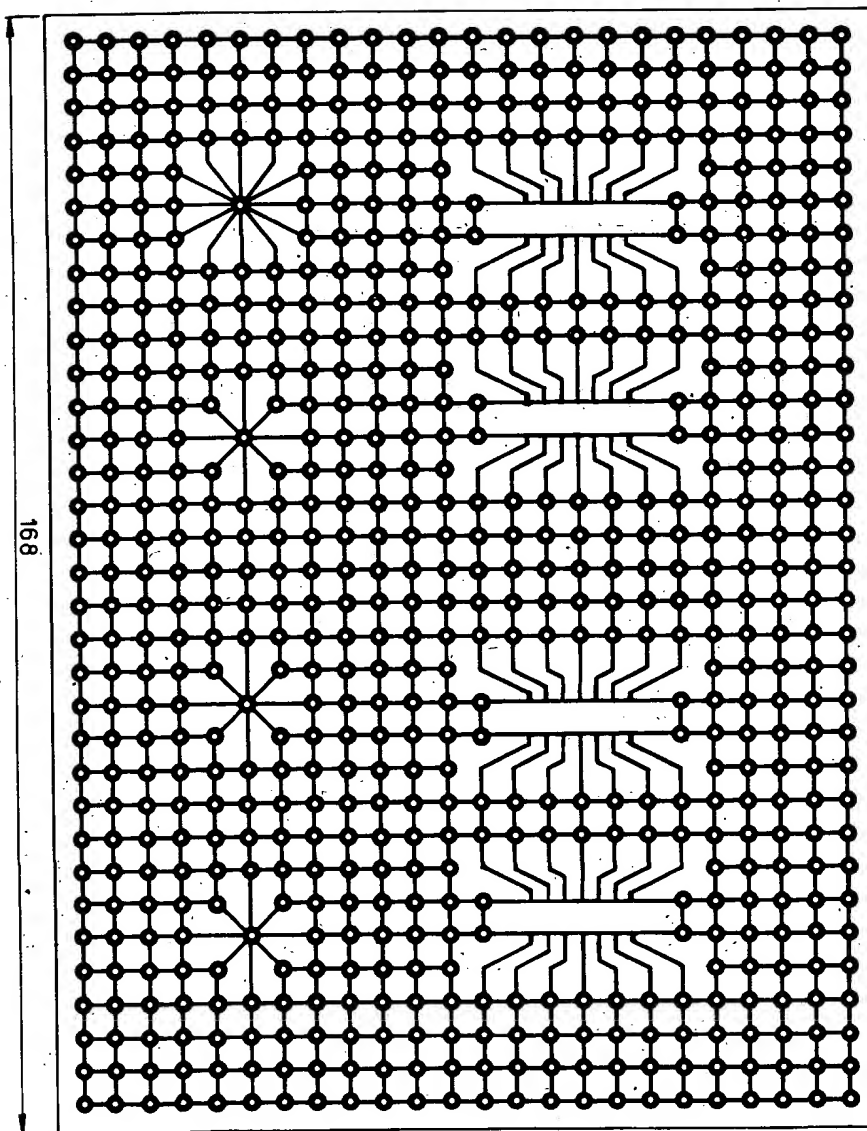
Na obr. 173 je uveden příklad pokusné konstrukce zapojení stabilizovaného zdroje, popsaného v další kapitole.

Popíšeme si některé zásady ověřování:

- Snažíme se dosáhnout přehledného, funkčně správného zapojení. Proto je užitečné nakreslit si předem rozložení a propojení součástek na zkušební desce.
- Pro experiment potřebujeme dobrý přístup k součástkám. K tomu přispíváme mimo návrh rozložení tím, že vývody součástek podle potřeby zkracujeme. Ne však více, než bude třeba pro konečnou montáž. Na desce vyvádíme měřicí body (zdířkové úchyty, z neizolovaných vodičů pro připojení krokosvorkou, plošky pro dotek měřících hrotů aj.).
- Polovodičové prvky umísťujeme přednostně do objímek.
- V potřebném rozsahu používáme místo součástek s neměnnými parametry (odporem, kapacitou) součástky proměnných parametrů, např. odporové a kondenzátorové trimry.

Chceme-li zhotovit pouze jeden obvod (přístroj), můžeme při pečlivé montáži realizovat na zkušební desce definitivní zapojení. Univerzálních zkušebních desek byla již uveřejněna celá řada. V naší jednotné koncepci se osvědčily desky, jejichž obrazce jsou na obr. 174 a 175. Jsou určeny pro montáž prvků ze strany fólie na soustavu pájecích bodů. Pájecí plošky jsou uzpůsobeny pro vzájemné propojení přemostěním dělicích mezer kapkou pájky. Tím omezujeme počet propojovacích vodičů.

Desku podle obr. 174 můžeme použít pro experimentální ověřování analogových, číslicových i hybridních obvodů. Má čtyři „motivy“ pro uchycení integrovaných obvodů v pouzdře DIL s maximálně 16 vývody, tři „motivy“ pro integrované obvody v kruhovém pouzdře s 8 vývody (např. operační zesilovače MAA501, 502, 741, 748 ...) a jeden motiv pro integrovaný obvod v kruhovém pouzdře s 10 vývody (MAA723). Příklad jejího použití je na obr. 173. Díky svým rozměrům je vhodná pro „půdorysnou“ zástavbu do přístrojových skříní typu I a II, popsaných v další kapitole.



Obr. 174. Obrazec plošných spojů univerzální zkušební desky (negativně, deska T201)

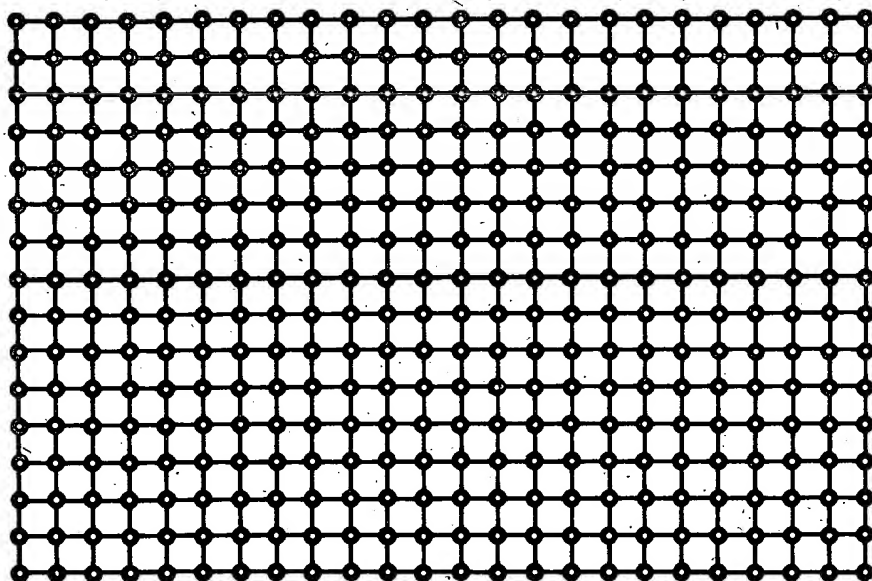
Jestliže desku přepůlíme, dostáváme dvě desky jednotného formátu většího z modulů popsaných v kapitole 1. Stejný rozměr, avšak bez „motivů“ pro montáž integrovaných obvodů, má deska na obr. 175. Je vhodná pro méně náročné experimenty a lze ji použít při stavbě vlastního typu modulu. Dělením těchto desek můžeme postupně získat i další doporučené formáty odpovídající obr. 176; desky

o rozměrech „malého“ modulu (odpovídá B) nebo nejmenšího formátu (C).

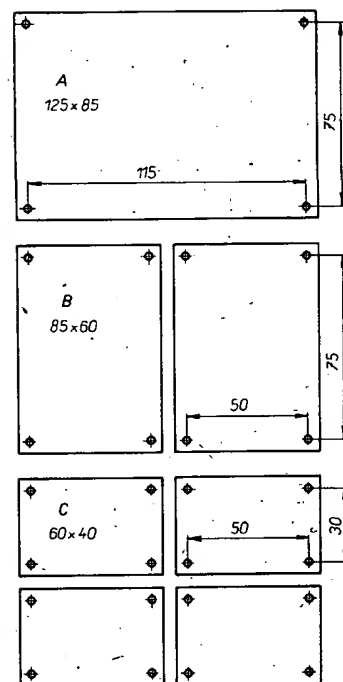
3.3 Návrh konstrukčního řešení

Design přístroje

Pod pojmem design (čti dizajn) zde myslíme řešení přístroje z hlediska vnější-



Obr. 175. Obrazec plošných spojů univerzální zkušební desky II (negativně, deska T202) (rozměr 123×83 mm s rámečkem 4 mm)



Obr. 176. Odvození jednotné řady velikostí desek s plošnými spoji. Průměry upevňovacích děr jsou 3,2 mm. Kolem děr je ochranné mezikružní s vnějším průměrem 8 mm, v němž nevedou žádné spoje a do něhož nezasahují součástky. Rozměry desek mají toleranci až -2 mm na každé straně, rozteče děr zůstávají stejné

ho provedení, jeho vzhled s ohledem na estetiku a ergonomii. Vzhled přístroje se podílí na jeho užité hodnotě. I amatérský výrobek je součástí prostředí obklopujícího člověka a zaslouží si proto naši pozornost. Doufáme, že se brzy z pera odborníka dostane tato problematika i s hojnými příklady na stránky Amatérského radia, aby se čtenáři mohli seznámit s prací průmyslových designerů, s ukázkami moderního designu včetně grafického řešení (popisu) nových přístrojů. V amatérských podmínkách jsme proti průmyslové výrobě v nevýhodě – nemůžeme vyrábět výlisky z plastů, máme k dispozici jen omezené možnosti obrábění, omezený výběr materiálů a povrchových úprav a tím omezená tvarová řešení. Nabízený sortiment univerzálních zástavbových skříněk, plastových výlisků nebo stavebních celokovových skříní nepovažujeme za dostatečný a vyhovující. Dokud nebudou na trhu cenově dostupné a funkčně kvalitní výrobky, nezbývá než se jím pokusit přiblížit amatérskou realizací.

Řešení modulů z kap. 1 a skladebné řady přístrojových skříní z kap. 4 má pomoci k vytvoření jednotné koncepce, v níž se konstrukční řešení zjednodušuje na rozmístění prvků na panelech přístroje a vnitřní zástavbu. Jednotnou konstrukcí zabráníme tomu, že náš měřicí park bude tvořit soubor nesourodých přístrojů. Znamená to nepřijímat neuvážené konstrukční řešení podle návodů v literatuře, ale přizpůsobovat si je.

Při návrhu uspořádání ovládacích a indikačních prvků, vstupů a výstupů dbáme na zásady ergonomie, tj. přihlížíme zejména k tomu, abychom mohli optimálně ovládat přístroj (převážně pravou rukou), abychom si přitom nezakrývali zorné

pole, v němž jsou umístěny indikační prvky, aby při ovládání nepřekážely přírodní vodiče, konektory a jiné ovládací prvky.

Z hlediska funkce a vzhledu přístroje má velký význam grafické řešení (popisy) na panelech, popř. i jiných částech výrobku. Díky sortimentu a dostupnosti suchých obtisků Propisot to dnes není problémem. Platí však určité zásady: popis má při minimálním množství symbolů poskytovat co nejúplnější informace. Nejlépe v takovém rozsahu, aby při běžné manipulaci nebylo třeba postupovat podle návodu k obsluze. Musí brát v úvahu logickou prioritu symboliky podle důležitosti. Zdůrazňujeme hlavní spínač, indikaci mimo-provozního stavu, indikaci přetížení apod. Symboly nesmí umožňovat dvojnásobný výklad, musí respektovat hlediska estetiky (výběr typu písma, provedení symbolů) a technologické možnosti – povrchová úprava, nalepování obtisků, kresby na panely.

Návrh správného popisu podle vyjmenovaných požadavků je náročná činnost. Protože se řada symbolů v mezinárodním měřítku sjednocuje, můžeme se inspirovat provedením tuzemských i zahraničních výrobků na vyobrazeních v katalogech, časopisech i přímo exponáty na výstavách. Inspirovat však neznamená slepě přejímat. Častou bolestí amatérských konstrukcí je móda cizojazyčných nápisů. Prameno svědčí o schopnostech konstruktéra, neumí-li použít vlastní jazyk. Častým jevem je pak neznalost i toho cizího a výsledkem jsou usměvné „pseudoanglické“ výrazy nebo „vícejazyčný guláš“. Argument o vhodnosti různých jazyků pro popis neobstojí. V průmyslové praxi se běžně vyrábí jeden typ přístroje v několika jazykových verzích (nejčastěji české, ruské, anglické a německé).

Konstrukční návrh

Popíšeme si postup při návrhu rozmístění a popisu ovládacích prvků. Pro návrh jak grafického řešení, tak desek s plošnými spoji je výhodné použít místo rýsovacího prkna tabulku skla rozměrů asi 420 × 300 × 4 mm. Získáme tak rovnou tuhou podložku, na kterou můžeme umístit 1 arch papíru formátu A3 nebo dva formátu A4. Papír se při kreslení tužkou nepomačkává, čáry jsou ostré a přitom je lze i snadno „gumovat“. Dobře se na ní rýsuje i rýsovacími pery. Kresba tuší se na hladké ploše lépe opravuje vykrábáním žiletkou. V případě potřeby můžeme podložku prosvěcovat. Jedinou nevýhodou je, že nelze používat kružítko, protože jeho hrot nemá oporu. Pomáháme si však použitím rýsovacích šablon.

Vraťme se k vlastnímu návrhu. Na uvedenou podložku přichytíme arch milimetrového papíru. Pracujeme převážně s formátem A4, který upevňujeme přilepením čtyřmi ústřížky samolepicí pásky v rozích archu. Na něj nakreslíme ve skutečné velikosti obrys panelu a znázorníme díly, jejichž poloha je pevně stanovena – např. upevňovací šrouby, plochy v nichž nelze prvky umístit, apod. Vše překryjeme archem pauzovacího papíru, který opět přilepíme k podložce. Pauzovacím papírem prosvítá milimetrový rastr a kresba. Do ní vykresluje ostrou měkkou tužkou rozložení prvků. Na mazání se osvědčuje pryž „na inkoust“. Pro získání co nejpřesnější představy o konečném vzhledu přikládáme přímo na předkreslený motiv prvky,

kteří mají být na panelu umístěny (ovládací knoflíky, hmotníky přepínačů, zdířky...), nebo jejich modely (kroužky, válečky, podložky aj.). Současné navrhuje i popis panelu. Písmena a číslice kreslíme od ruky, vycházíme však přitom z typu písma vybraného ze sortimentu suchých obtisků Propisot. Používáme přednostně jeden typ písma.

Osvědčené typy a velikosti jsou: GILL OBYČEJNÝ 2 mm (101), 3 mm (102), 5 mm (103); UNIVERSAL GROTESK UZKÝ TUČNÝ 3,5 mm (291), 4,5 mm (292); UNIVERSAL GROTESK TUČNÝ 3,5 mm (281), 4,5 mm (282); AKCIDENČNÍ GROTESK ŠÍROKÝ POLOTUČNÝ 2,5 mm (3 VMN 97 02.5). V závorkách je uvedeno číselné označení (katalogové číslo) archů. Podtržení znamená, že archy jsou vyráběny i v barvě bílé, modré, červené a zlaté.

Umístění prvků je úzce svázáno s grafickým řešením – obojí se vzájemně ovlivňuje. Nedostačující nebo přebytný prostor pro popis může znamenat změnu symboliky nebo naopak změnu polohy prvku. Po definitivním rozmístění vykreslíme na další arch milimetrového papíru obrys panelu a navržené rozmístění prvků včetně středů děr. Práci nám usnadňuje milimetrová síť. Získáme tak matici, z níž stejným postupem – překrytím pauzovacím papírem – nakreslíme výkres panelu (a je-li použit) i subpanelu. Dáváme přitom přednost kresbě tuší – trubičkovými pery. Výhodou je možnost rozmnožování kresby z pauzovacího papíru klasickými způsoby (světlotisk), snadná kontrola příkladním kresbou na prosvítajícím pauzovacím papíru k dalším výkresům.

Prakticky souběžně s řešením rozmístění a popisu ovládacích prvků navrhuje vnitřní „zástavbu“. Vycházíme přitom z půdorysných náčrtů ve skutečné velikosti na milimetrovém papíře. Jednotlivé díly si na něj přímo přikládáme i vykresluje a hledáme vhodnou polohu při zaručení sestavitelnosti. Přihlížíme k fyzikálním zákonitostem a konstrukčním zásadám – např. síťový transformátor a vodiče se síťovým napětím co nejvíce vzdalujeme od vstupních obvodů a obvodů s velkou impedancí, neumísťujeme do těsné blízkosti prvky, které určují přesnost a vlastnosti přístroje (referenční prvky, děliče...) a součástky, které se ohřívají (srazecí rezistory, regulační tranzistory, síťový transformátor...). Snažíme se dosáhnout rozložení s co nejkratšími propojovacími vodiči, s přístupnými nastavovacími prvky a měřicími body.

Konstrukční prvky mají být pevně uchyceny (zásadně ne pouze v jediném bodě). Dáváme přednost šroubovým spojům, neboť vrtat díry a řezat závit lze i v domácí dílně. Nepoužíváme pokud možno díly, obráběné na méně dostupných strojích – soustruhu či fréze. Volíme snadno opracovatelné a relativně dostupné materiály, především hliníkové slitiny. Stanovujeme tvar, velikost a umístění desek s plošnými spoji, volíme přednostně dvě varianty:
a) desky zcela přizpůsobené konstrukci přístroje,
b) desky s jednotnými rozměry.

Možnost podle a) použijeme tam, kde „šíje desku na míru“ – od zástavby jednoduchých obvodů do nejrůznějších plastových krabiček, až po složité přístroje moderní, tzv. jednodeskové konstrukce. Příkladem mohou být přístroje, popsané v kapitole 4. Výhodou tohoto řešení bývá snadnější opakovaná výroba, jednoduchá a úsporná zástavba, dobrý přístup k desce, mechanická pevnost konstrukce. Nevýhodou je pracný návrh obrazce spoju u složitějších zařízení, obtížnější úpravy při změnách zapojení a proto i potřeba

důkladného předchozího funkčního ověření obvodů.

S případem b) se dosud nesetkáváme tak často, jak by si to zasloužil. V literatuře jsou běžně uváděny návody, které nepopisují detailní konstrukční řešení. Obsahují pouze obrazec plošných spojů, náčrso rozložení součástek a vlastní zástavbu desky ponechávají čtenáři. Desky se přitom liší rozměry, uspořádáním vývodů, způsobem upevnění. Řada obvodů má charakter ucelených funkčních bloků, které by bylo možno převzít a podle vlastního výběru spojit do větších celků, v hotových zařízeních je zase obměňovat, usnadňovat jednotné konstrukční řešení.

Tomu všemu může pomoci používání desek s plošnými spoji jednotných rozměrů. Příkladem, kde by jednotnost našla uplatnění, je celá řada. Připomeňme si, co již bylo popsáno obvodů stereofonních rozhlasových přijímačů a zařízení nf techniky, jak by pomohlo elektronikům jednotné provedení nf zesilovačů, dekodérů, obvodů AFC, indikátorů vyladění, předzesilovačů, korekcí apod.

Podobně v amatérské vysílací technice se již ustálila určitá obvodová řešení. Bloková konstrukce urychluje vývoj a stavbu nových i vylepšování starších zařízení. Stejně obvody – osvědčené funkční bloky – nf zesilovače, demodulátory, nf filtry, nf zesilovače, modulátory, BFO apod. použijeme v zařízeních KV i VKV, ve všepásmovém domácím i jedno-duším přenosném „víkendovém“ zařízení.

V měřicí technice je výhodné „mít po ruce“ obvody zdrojů, převodníků, zobrazovačů, zesilovačů, oscilátorů... Příkladem takového univerzálního funkčního bloku je číslíkové panelové měřidlo popsané v další kapitole.

V našich konstrukcích používáme 3 velikosti desek podle obr. 175, který současně ukazuje, jak jsou rozměry odvozeny. Rozměry desek jsou uvedeny v „horní“ toleranci, připouštíme zmenšení rozměrů o 1 mm od středu v každém směru. Formát A odpovídá desce většího z modulů v první kapitole, univerzální zkušební desce II z obr. 175; formát B menšímu z modulů, základní desce číslíkového panelového měřidla v kapitole 4; formát C používáme především pro jednoduché obvody při práci v zájmových kroužcích.

Desky jednotných rozměrů můžeme upevňovat distančními sloupky či trubičkami vedle sebe – na dva nosníky vzdálené o rozteč upevňovaných děr nebo na sebe.

Návrh obrazců desek s plošnými spoji

Pokud nejde o vysloveně jednoduché zapojení, je téměř pravidlem, že každý návrh je tak časově náročný, že se nevyplatí navrhovat desku pro jediný výrobek. Proto někdy používáme univerzální zkušební desky i pro konečné provedení obvodu. Je-li zapojení určeno pro opakovanou zhotovení, je návrh desek s plošnými spoji zcela na místě.

Normalizace roztečí vývodů součástek, použití prvků s mnoha vývody (integrálních obvodů, konektorů...) a požadavky hromadné výroby vedou k rozmísťování děr na deskách v normalizovaných vzdálenostech, ke stanovení určitých zásad pro volbu velikosti děr, pájecích ploch a vodičů podle tzv. tříd konstrukčního provedení. U nás se používají čtyři třídy, které jsou charakterizovány:

- minimální vzdálenosti mezi středy dvou sousedních děr (vzájemně izolovaných pájecích plošek),

Třída	Nákres	Poznámka	Max. ø díry [mm]	Max./min. ø páje- cí plošky [mm]	Min. šířka vodiče/ mezer [mm]
I		Průchod vodiče mezi body s roztečí 5 mm nepřipustný	1,6	4,3/ø díry + 1,9	0,50/0,65
II		Průchod vodiče mezi body s roztečí 3,54 mm nepřipustný	1,0	3,0/ø díry + 1,4	0,40/0,45
III		Průchod vodiče mezi body s roztečí 2,5 mm nepřipustný	0,8	2,1/ø díry + 1,05	0,35/0,35
IV		Průchod vodiče mezi body s roztečí 2,5 mm povolen	0,8	1,5/ø díry + 0,7	0,30/0,35

Obr. 177. Čtyři třídy konstrukčního provedení desek s plošnými spoji

- minimální velikosti pájecích plošek pro jednotlivé velikosti děr,
- minimální šířkou plošných vodičů a mezer.

Podrobné údaje jsou na obr. 177. V amatérské praxi nejsme těmito údaji vázáni, je však užitečné hlavní zásady přebírat. První a druhá třída konstrukčního provedení (přesnosti) jsou vhodné pro desky osazené běžnými pasivními prvky a tranzistory, do třetí třídy patří desky, obsahují-li pouzdra integrovaných obvodů s roztečí vývodů 2,5 mm (např. pouzdra číslicových integrovaných obvodů), čtvrtá třída je určena především pro složité obvody výpočetní techniky. Vyznačuje se na první pohled tím, že spoje procházejí i „mezi vývody“ pouzder číslicových integrovaných obvodů, tj. mezi ploškami v rozteči 2,5 (2,54) mm.

Po získání dostatečných zkušeností lze i v amatérských podmínkách navrhovat a zhotovovat desky s plošnými spoji ve všech čtyřech třídách přesnosti a to „jednostranně“ i „dvoustranně“. Za základní technologii, vhodnou jak pro kolektivy, tak pro jednotlivce, přitom považujeme fotolitografickou metodu.

Tomu odpovídá i další text. Některé popsané postupy však s výhodou můžeme použít i při náhražkových metodách zhotovování desek – např. hloubení dělicích čar nebo vykreslování spojového obrazce přímo na měděnou fólii.

Při návrhu volíme, bude-li obrazec nakreslen systémem dělicích čar nebo spojovacích vodičů, a bude-li použita deska jednostranně nebo oboustranně plátována.

Systém dělicích čar se vyznačuje poměrně snadným zhotovením fotografické předlohy (kreslí se jen dělicí čáry a body v místech děr), úsporou leptací lázně, větší mechanickou pevností pájeného vodiče a jeho odolností proti přehřátí, menším elektrickým odporem plošných vodičů. Je vhodný pro zapojení v první a druhé třídě přesnosti, v jednodušších případech i ve třetí třídě. Výkres fotografické předlohy můžeme bezprostředně použít ke zhotovení desky, pracujeme-li s tzv. negativně působícím fotorezistem. Nevýhodou může být větší nebezpečí vzniku neodlepovaných místků mezi vodiči, větší vzájemné kapacity, fotografickou předlohu nelze přímo použít pro pozitivně pracující fotorezisty. Příkladem použití jsou desky s plošnými spoji modulových přístrojů z kap. 1.

Systém spojovacích vodičů používáme pro složitější zapojení odpovídající třídám přesnosti třetí a čtvrté, zejména obvodů číslicové techniky, vyznačujících se vel-

kým množstvím úzkých spojovacích vodičů shodné šířky. Kresba je náročnější, musíme vykreslovat pájecí body a spojovací vodiče. Můžeme si však pomoci nalepováním speciálních suchých obtisků Propisot. Výkres fotografické předlohy lze přímo použít pro expozici pozitivně pracujících fotorezistů. Nevýhodou bývá větší opotřebení leptací lázně, náchylnost k přerušení vodičů snadno přehlédnutelnými trhlinkami, snadné přehřátí a uvolnění pájecí plošky při pájení. Příkladem použití jsou desky s plošnými spoji přístrojů popsaných v další kapitole.

V převážné většině případů používáme jednostranně plátované desky s plošnými spoji. Dvoustranně zhotovujeme jen tehdy, vyžaduje-li to mimořádná hustota součástek nebo speciální požadavky. Protože jsou podstatně pracnější a tím i dražší, používáme je jen tehdy, nelze-li nahradit omezené množství spojů drátovými propojkami. Ve vř. obvodech a měřicí technice někdy slouží fólie na jedné straně jako celistvá zemnicí plocha. Pak nemusíme pro tuto stranu vykreslovat fotopředlohu, ale jen „vrtací předpis“, podle něhož při výrobě desky odstraníme (odvrtáme) fólii kolem děr, jímž mají procházet vývody součástek nespojené se zemní plochou. K tomu se osvědčuje použít vrtáčku se stojanem, u něhož lze nastavit hloubku vrtání. Dobře se pracuje s vrtákem nabroušeným s větším úhlem břitů, případně s vybroušeným malým naváděcím hrotem. Vhodné jsou i určité druhy vyřezaných „zubních“ frézek.

Popišme si postup návrhu obrazce desky s plošnými spoji. Je poměrně pracný, ale vede k velmi dobrým výsledkům, neboť jím získáme úplné výrobní podklady desky a možnost poměrně snadno nalézt a odstranit závady ještě v průběhu návrhu. To má velký význam při návrzích složitých obvodů.

Pro jednoduchá zapojení se čtenáři postup zjednoduší převzetím jen základních operací. Nejdříve si vyjmenujeme pomůcky a materiály, které používáme při návrhu a zhotovení podkladů pro výrobu desek s plošnými spoji:

a. *Skleněná podložka* – doporučené rozměry a její výhody byly popsány. Pokud si ji necháme uříznout z tabulového skla, zabrousíme pod vodou hrany karborundovým brouskem.

b. *Milimetrový papír* – prodává se nejčastěji v arších formátu (A4, A3) nebo v blocích (A4). Kontrolujeme např. ocelovým měřítkem, zda milimetrová síť nemá velkou chybu, která je nežádoucí u velkých rozměrů desek, roztečí upevňovacích děr a ovládacích prvků.

c. *Pauzovací papír* – dostaneme nejčastěji v rolích. Nepřekládat, chránit před postříkáním vodou, které způsobuje zvlhnutí papíru (nežádoucí u fotografické předlohy).

d. *Trubičková pera* – vystačíme většinou s násadkovými trubičkovými pery č. 3 a 5. Náplň per nesmíme nechat zaschnout, po skončení práce pera vždy vymyjeme. Drátek z trubičky nikdy nevytahujeme!

Podstatně větší komfort přináší práce s rýsovacími trubičkovými pery Centrograf. Ty si však pořizujeme jen při dlouhodobé soustavné práci s nimi. Doporučujeme mít pera s průměry 0,25; 0,35 a 0,5 mm.

e. *Tuš* – na kresbu fotografické předlohy vyžadujeme velkou krycí schopnost tuše. Z našich výrobků vyhoví tuš pro rýsovací pera Centrograf, řidce se vyskytují i vhodné zahraniční výrobky.

f. *Tužka* – hrot patentní tužky, tzv. „krajonu“ musíme často ostřit, pohotoví i improvizovaný ostříž je nezbytný (např. pásek smrkového papíru, vlepový podél vnitřní stěny malé plechovky. Pohodlná práce je s patentními tužkami, které mají tuhu o průměru 0,5 mm (Pentel, Rotring, Staedler). Jejich nabídka u nás je omezená, podstatně lépe jsou na tom naši sousedi, např. v MLR.

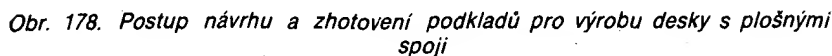
Další pomůcky již nevyžadují zvláštní komentář. Jsou to mazací pryž, samolepicí páska, šablony děr (příp. i schematických značek), pravítka, žiletka, trpělivost... Postup práce při návrhu a zhotovení podkladů pro výrobu desky s plošnými spoji popisuje obr. 178.

Výchozím podkladem je přehledné, funkčně ověřené schéma obvodu, v němž jsou všechny prvky označeny příslušnými písmeny s pořadovými čísly ($R_1, \dots, C_{12}, \dots, T_4, I_{O7}$) a rozpiska součástek s přesným vyznačením typu. Musíme znát skutečné rozměry použitých součástek, rozteče upevňovacích děr a průměry vývodů. Proto si ve velikosti 1:1 a s vyznačením polohy a průměru vyznačíme všechny potřebné typy součástek na jeden arch milimetrového papíru – označíme si ho jako pomocný výkres 0. Potřebné údaje získáme z konstrukčního katalogu součástek nebo změřením vzorků. V katalogu bývají uvedeny jak doporučené rozteče, tak průměry děr. Pokud je stanovujeme sami, volíme rozteče v násobku 2,5 mm a průměry podle vývodů jako nejbližší vyšší z řady (0,6; 0,8; 1,0; 1,3; 1,6... mm. Každému přiřadíme značku. Výkres 0 nekreslíme vždy – doplňujeme jen podle potřeby zakreslením nově použitých typů součástek.

Pozn.: kreslíme vždy „ze strany součástek“ – pozor na značení vývodů tranzistorů a lineárních integrovaných obvodů.

Na podložku připevníme samolepicí páskou za rohy arch milimetrového papíru, na který nakreslíme obrys desky, vyznačíme předem stanovenou polohu upevňovacích děr; ovládacích a nastavovacích prvků, míst, kde nelze součástky umístit apod. Je výhodné nakreslit dva takové motivy vedle sebe. Dostáváme výkres označený 1.

Překryjeme jej pauzovacím papírem, přilepíme a kreslíme návrh rozložení součástek a jejich propojení. Pro tuto činnost neexistuje zvláštní obecný postup vedoucí rychle k úspěchu, svou roli zde hrají především zkušenosti. Pracujeme systémem „tužka – mazací pryž“. Jednoho z podkladových obrázků využíváme k hledání vhodného uspořádání třeba jen části



Po překrytí výkresu 3 a přelepení
pauzovacím papírem si vyznačíme díry

Předlohou je výkres 4 podložený výkresem 6. Kresba musí být kontrastní, kvalitní tuší. Při použití metody dělicích čar použijeme pro čáry pero o průměru hrotu



5 na 7 – správnost velikosti pájecích plošek fotografické předlohy (orientačně podle obr. 177).

Chceme-li použít inverzně pracující foto-
rezist nebo zhotovit pracovní kopie origi-
nálu fotografické předlohy, pomáháme si

kontaktním kopírováním na plochy film. Plochy film je však obtížně dostupný – vedou jej pouze vybrané prodejny Rempo – a mnozí elektronici nemají dostatečné zkušenosti a možnosti k práci s těmito fotomateriály. Za těchto okolností doporučujeme nechat si zhotovit kopie v provozovnách fotografických družstev nebo podniků místního hospodářství. Dokáží však i zhotovit fotografickou předlohu z vyobrazení v časopise. Zvláště při kolektivním využití v zájmovém kroužku nebo klubu jsou náklady připadající na jednoho uživatele nízké.

3.4 Zhotovování mechanických dílů a desek s plošnými spoji

Při vhodné konstrukci přístroje vystačí pro zhotovení mechanických dílů běžně vybavení domácí dílny, v níž je vrcholem mechanizace elektrická vrtačka se stojanem. Přesto je užitečné využívat podle možnosti dílen organizací zaměřených na zájmové technickou výchovu k úspoře času i zvýšení kvality práce.

Příkladem je použití tabulových nůžek namísto pracného řezání a zarovnávání, nebo ohýbačky místo provizorního ohýbání mezi dvěma profily L, upnutými do svěráku.

Nebudeme uvádět podrobné dílenské postupy, které najdeme ve starší literatuře, výjimku tvoří technologie výroby desek s plošnými spoji (popis následuje) a technologie povrchové úpravy přístrojových skříní včetně popisů panelů (popis v další kapitole).

Možnost samostatné výroby desek s plošnými spoji je nezbytným předpokladem rozvinuté tvůrčí zájmové technické činnosti. Zpřístupnění technologie fotolitografické výroby desek i nejmladším členům zájmových kolektivů přináší užitek v podstatném zvýšení kvality práce, v získání schopnosti obvodu i samostatně kroužkovit. Zkušenosti z práce zájmových kroužků Městského domu pionýrů a mládeže v Brně nás přesvědčují, že výrobu desek zvládají dvanáctiletí i mladší elektronici a třináctiletí dovedou nejen desku zhotovit, ale i navrhnout a mnohdy svými praktickými znalostmi předčí absolventy středních a vysokých škol. Je proto společenským přínosem, když organizace zajistí prostředky a přípravky, které jsou na maloobchodním trhu většinou nedostupné. Výjimku tvoří po několikaleté přestávce souprava pro výrobu desek s plošnými spoji ze ZPA Nový Bor.

Princip výroby desek s plošnými spoji spočívá v tom, že se na měděnou fólii desky nanese fotorezist (světlocitlivá látka). Přímou na vrstvu fotorezistu se přiloží fotopředloha (průsvítka), film s kresbou obrazce plošných spojů a deska exponuje (osvítí). Ve vývojce se odplaví neosvětlená místa negativně pracujících fotorezistů nebo osvětlená, je-li použit pozitivně pracující fotorezist. V leptacím roztoku je z odkrytých míst odleptána měděná fólie a vytvoří se tak obrazec vodivých plošných spojů. Popíšeme dosavadní postup a prostředky výroby s použitím přípravků z n. p. Grafotechna Praha.

Deska se dokonale očistí a odmastí – jemným smrkovým papírem, videňským vápnem nebo práškem na nádobí s odmašťovacím účinkem (např. AVA). Kontrolou dokonalého očištění je, že při oplachu po celé ploše ulpívá rovnoměrně vodní vrstva. Na desku nanese vrstvu sensibilizované emulze T 020. Výrobce doporučuje použít odstředivku s rychlostí otáčení 80 ot/min. Pro tyto účely se zhotovují odstředivky ze starých typů gramo-

fonů se 78 ot/min., umístěných do uzavřených skříní, které se vyhřívají topnými tělesy řízenými termostatem asi na 50 °C, nebo se rotující deska ofukuje teplovzdušným ventilátorem.

Odstředivou silou vzniká rovnoměrná vrstva emulze, působením tepla se urychluje vyschnutí, vytvrzení vrstvy. Po úplném zaschnutí se na vrstvu emulze přiloží fotografická předloha, překryje tabulkou čistého nepoškrábaného skla (nebo organického skla), která se zatíží tak, aby předloha dolehla celou svou plochou k světlocitlivé vrstvě. Velmi užitečné je zhotovení upínacího rámečku pro tyto účely. Deska se osvítí horským sluncem nebo svítlidlem s uliční výbojkou, jejichž světlo je účinné na emulzi. Zdroj světla musí být umístěn kolmo k desce, ve vzdálenosti asi 40 cm. Délka expozice závisí na zdroji světla, na jeho vzdálenosti a na propustných vlastnostech skla či organického skla, a proto musí být stanovena experimentálně. Bývá typicky 5 až 15 minut.

Po osvětlení vrstvy vyvoláme ofsetovou vývojku typ 030, potíráním štětcem ve fotografické misce. Po vyvolání se přebytečná vývojka setře stěrkou (emulze nesmí přijít do styku s vodou!) a deska se vloží do lázně zahlučovače pro měd typ 131.

Leptání napomáháme potíráním štětcem, pozor však na jeho kovové části. Nemají přijít do styku se zahlučovačem.

Senzibilizovaná emulze T 020 není příliš citlivá na umělé osvětlení a nepřímé denní světlo, je však užitečné pracovat s ní v mírném přitíni. Je rozpustná ve vodě, můžeme ji proto snadno ředit pro dokonalejší nanášení a také smýt po ukončení leptání. Na druhé straně proto nesmí leptací lázeň – zahlučovač – obsahovat vodu. Po odstranění emulze plošné spoje chráníme proti korozi nátěrem laku, který má současně usnadňovat pájení. Nejjednodušším pájecím lakem je roztok kalafuny v denaturovaném lihu, čističi skvrn Čikuli nebo toluenovým ředidlem.

Použité přípravky byly výrobcem z důvodů toxicity sloučenin chromu nahrazeny novými výrobky, na jejichž použití postupně uživatelé přecházejí. Nový soubor přípravků má název PLD. Oproti původnímu postupu nový senzibilizovaný roztok PLD 023 vyžaduje vytvořit podstatně tenčí vrstvu, a proto je doporučována rychlost odstředivky 120 ot/min. Vyžaduje se dokonale vysušení, výrobce dokonce doporučuje expozici 2. až 3. den po nanášení. Prakticky bylo ověřeno, že při použití sálavého tepla pro vysušení vrstvy můžeme desku zpracovávat ihned. Emulze je podstatně citlivější na dotek prstů a mechanické poškození, opatrně si práce vyžaduje větší pečlivost – neosvětlená místa se odplavují. Vyvolává se vodou – sprchou o teplotě 15 až 25 °C a poté se deska ponořuje na 2 minuty do tvrdícího roztoku. Z koncentrovaného roztoku PLD 029

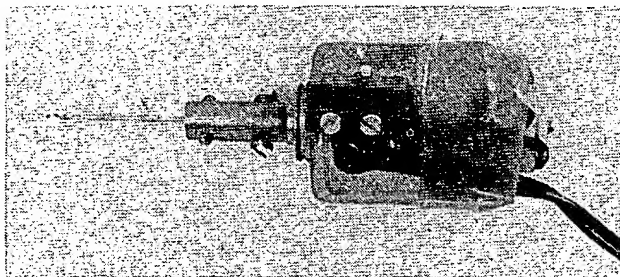
jej získáme zředěním vodou v poměru 1:9. Po vytvrzení desku opláchneme vodou, dokonale vysušíme (teplem). Leptáme v původním zahlučovači typ 131. Po vypleptání a oplachu vodou vrstvu emulze odstraníme buď mechanicky nebo odvrstvocími roztoky.

Pro zpracování desek s plošnými spoji může být používán také soubor přípravků podniku Lachema Brno, jehož základem je pozitivně pracující fotorezist SCR-5. Je však poměrně drahý. Novým výrobkem na našem maloobchodním trhu jsou výrobky ZPA Nový Bor. Jde o desky s naneseným rezistem, zabalené v ochranném obalu, dodávané s lahvičkou hydroxidu sodného a návodem. Světlocitlivá vrstva pracuje pozitivně – černé plochy fotografické předlohy vytvoří plošné vodiče. Je citlivá i na rozptýlené denní světlo, doporučujeme proto pracovat při ztlumeném osvětlení žárovkou. Postup expozice je shodný s popsáním. Výrobce doporučuje použití horského slunce po dobu 5 až 7 minut ve vzdálenosti 30 až 40 cm. Vývojku tvoří 1,5% roztok hydroxidu sodného ve vodě. Po vyvolání můžeme desku omýt, osušit a opravit acetonovým lakem. K leptání můžeme použít už popsany zahlučovač, příp. si jej zhotovíme rozpuštěním chloridu železitého ve vodě (650 g/l vody) nebo směsí kyseliny chlorovodíkové a peroxidu vodíku. Připravujeme ji tak, že do 750 ml vody vlijeme za stálého míchání 150 ml 35% HCl (ne naopak!)

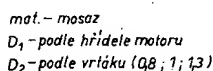
Před leptáním přidáme 100 ml 30% peroxidu vodíku. Vrstvu rezistu můžeme bez obav nechat na spojích jako ochranu proti korozi. Velmi dobře se přímo na ní pájí. Smývá se snadno acetonem nebo denaturovaným lihem. Protože výrobce má i přiměřenou cenu, můžeme jeho uvedení na trh označit jako přínos pro naši „elektronickou veřejnost“.

Při výrobě plošných spojů dbáme ve zvýšené míře na bezpečnost. S chemikáliemi pracujeme zásadně s ochrannými pomůckami. Před potřísněním pokožky se chráníme pryžovými rukavicemi. Případná konstrukce odstředivky nebo osvětlovacího zařízení nepřipouští jakoukoli neodbornou improvizaci. Před použitím si zaslouží kontrolu i stav elektrické instalace, k níž bude zařízení připojeno.

Pro zhotovení desek s plošnými spoji se přednostně používají plátované sklolaminátové materiály. Při nanášení fotorezistu se obvykle nedaří dosáhnout rovnoměrného rozliti vrstvy po celé ploše až k okrajům. Obstříh proto volíme na všech stranách asi o 10 mm větší, než je obrys fotografické předlohy. Sklolaminát se poměrně dobře řeže pilkou na kov, lupenkou pilkou s plátkem na kov, stříhá nůžkami na plech a vrtá. Brzy však tupí nástroje a je nežádoucí vnikání prachu vzniklého při obrábění do dýchacích cest. K vrtání děr pro vývody součástek potřebujeme vrtáky tří průměrů – 0,8; 1,0 a 1,3 mm. Pro vrtání desek s větším množstvím děr je třeba používat vrtačku se stojanem. Vyho-



Obr. 180. Vrtáčka pro plošné spoje zhotovená z malého komutátorového motorku

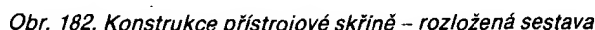


vi i vrtačka PIKO s napájením 12 V, ktorou lze občas i se stojanem koupit v našich hračkářských a modelářských prodejnách.

Použitý motorek je typu FT 160D, jehož předností jsou kvalitní ložiska, která můžeme axiálně namáhat a velká rychlost otáčení – 38 000 ot/min. při napájení 12 V. Vrtačku můžeme zhotovit i z jiných motorků, pokud vyhoví ložiska a rychlosti otáčení, popř. krouticím momentem. Napájecí zdroj opatřujeme na výstupu kondenzátorem s velkou kapacitou, např. 5000 μF . Náboj na kondenzátoru vykryvá proudový náraz po zapnutí motoru a tím dosáhne velké kroutícího momentu při rozběhu.

Žákladem koncepční konstrukční činnosti je použití jednotné konstrukce přístrojových skříní a principů jejich vnitřní zástavby. Výsledkem je jednodušší výroba, usnadněná konstrukce nového přístroje a zachování designové jednoty přístrojů. Tato skutečnost platí plně i pro amatérské výrobky. Dále popisovaná skladebná řada tří typů přístrojových skříní umožňuje skříně sestavovat do sestav s elektronickými měřicími přístroji pro školní výuku a zájmově technickou činnost z k. p. TESLA Brno. Řešení je modifikováno pro technologie používané v dílnách zájmových organizací, popř. v domácích dílnách amatérů-elektroniků. Zájemci mohou podle svých možností volit z několika variant použitých materiálů a povrchových úprav.

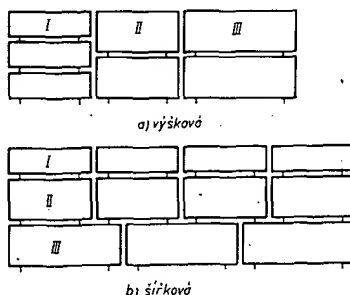
Výkresy dílů nemají uvedeny tolerance rozměrů. Je nutno si uvědomit jejich souvislost s použitou technologií zhotovení, současně i skutečnost, že se jedná o „know-how“, tedy duševní vlastnictví



Popis konstrukce

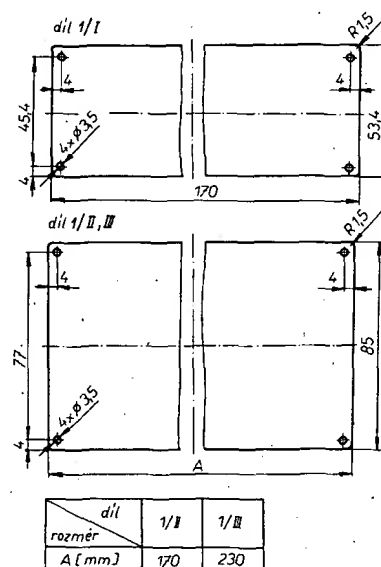
Základem skladebné řady skříní je konstrukce na obr. 182. Každá skříň se skládá z čelního panelu 1, subpanelu 2 a zadního panelu 3. Vzdálenost čelního panelu je 10 mm, je vymezena distančními trubčkami 8 a zaručuje, že na subpanel je možno bez úprav upevnit řadu ovládacích prvků – potenciometry a otočné přepínače s délkou hřídele 20 mm, tlačítkové přepínače Isostat, dvojzdlíčky, indikační prvky atd. Bočnice 4, 5 jsou v základním provedení shodné. Jejich řešení umožňují zástavu v horní i dolní části bočnic (díry se závitem M3 o rozteči 25 mm). Bočnice současně slouží k upevnění horního 6 a dolního 7 krytu shodného tvaru písmene U. Ke spodnímu krytu jsou připevněny nožky, sestavené z dílů 9, 10, 11.

Klíčovým problémem návrhu souboru přístrojových skříní je počet prvků skla-



debne řady a jejich rozměrů. Popisovaná řada se skládá z přístrojových skříní typu I, II a III. Rozměry jednotlivých typů skříní vycházejí ze složitosti předpokládaných druhů měřicích přístrojů, z typických rozměrů nejčastěji užívaných konstrukčních dílů – ovládacích prvků, měřidel, transformátorů – a z požadavku vzájemné rozměrové kompatibility (slučitelnosti). Tímto vzletným termínem máme na mysli takovou volbu rozměrů, aby bylo možno přístroje skládat na sebe a vedle sebe tak, že je možno vytvářet účelové, prostorově nenáročné měřicí pracoviště.

Navržené skříňe mají jednotnou hloubku. Rozměry skříní v čelním pohledu zajišťují rozměrovou kompatibilitu (obr. 183). To znamená, že výšková úroveň vertikální sestavy tří skříní typu I odpovídá sestavě dvou skříní typu II nebo III; třem šířkám skříní typu III odpovídají čtyři šířky skříní typu I a II (s mezerou 5 mm).



Obr. 184. Přední panel

Provedení konstrukčních dílů

Číslo dílů odpovídají popisu na obr. 182. Podle typu skříně je číslo dílu lomeno odpovídající římskou číslicí.

a) Přední panel – díl 1

Výkresy dílů jsou na obr. 184. Doporučeným materiálem jsou polotvrdé až tvrdé slitiny hliníku (dural) tloušťky 1,2 až 1,6 mm. Vzhledem k tomu, že jde z jedné strany o čelní plochu, je nutno použít plechy s dokonalým povrchem, bez viditelných stop po válcování a nepoškozené rýhami a vrypky.

b) Subpanel – díl 2

Výkresy dílů jsou na obr. 185. Doporučeným materiálem je polotvrdý hliníkový plech tloušťky 3 mm.

c) Zadní panel – díl 3

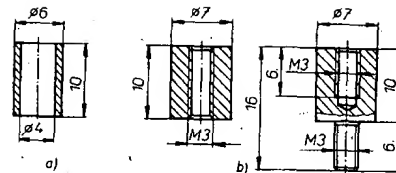
Výkresy dílů jsou na obr. 186. Podle požadované nosnosti (např. nese-li díl síťový transformátor) může kolísat tloušťka materiálu mezi 2 až 3 mm. Nejvhodnějším materiálem je polotvrdý hliníkový plech. Jedna strana dílu je vnější (zadní) plochou a platí pro ni stejné požadavky jako u čelní strany předního panelu.

d) Bočnice – díly 4, 5

Výkresy dílů jsou na obr. 187. V tomto provedení (bez dalších úprav pro konkrétní typ přístroje) jsou levé bočnice 4 i pravé bočnice 5 shodné. Doporučeným materiálem je ocelový plech tl. 1 mm. Dírky se závitem M3 by měly být zhotoveny s průtažkem. Pozn.: při výrobě konkrétního přístroje není nutné vrtat všechny díry na podélných hranách. Protože zhotovení průtažků i protikoroziní úprava galvanickým povlakem (zinkování, chromátování) nejsou běžně dostupné technologie, nezbyvá než použít náhradní povrchovou úpravu (rozleštit tenkou vrstvou ochranného vosku, např. Aviro, Resistin ML apod.) a řezat závity do dřeva bez průtažků, nebo použít nekoroziční materiál větší tloušťky, např. měkké slitiny hliníku (s ohledem na ohyby) tloušťky 2 mm.

e) Horní a dolní kryt – díly 6, 7

Výkresy dílů jsou na obr. 188. Doporučeným materiálem jsou měkké slitiny hliníku tloušťky 2 mm. Rozměry označené A je nutno přizpůsobit použité povrchové úpravě. Použijeme-li potahování fólií (tapetou), je rozměry nutno zvětšit minimálně o čtyři tloušťky použité fólie.



Obr. 189. Distanční trubičky a sloupky

Zhotovujeme-li větrací otvory, nezapomínáme, že nesmí být průchozí pro zkušební tyčinku kruhového průřezu o průměru 4 mm (viz kap. 2). To znamená omezit průměr kruhových větracích děr na 3,8 mm a přesné vrtat velké množství děr. Pokud budou v krytech vyřezány otvory či vyvrtány díry větších rozměrů, je nutné je překrýt co nejdříve drátěnou, popř. textilní síťovinou, bránící vzniku cizího předmětu.

f) Distanční trubičky – díl 8

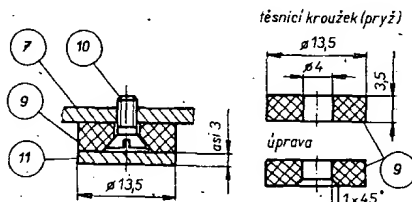
Nejdostupnějším řešením je zhotovit distanční trubičky z hliníkové trubky o vnějším průměru 6 mm. Výhodnější je použít distanční sloupky s vnitřním závitem M3, které umožní pohodlnou demontáž čelního panelu. Možné varianty jsou na obr. 189.

g) Nožky – sestava dílů 9, 10, 11

Na nožky klademe následující požadavky:

- nesmí se deformovat při skládání přístroje do vrstev,
- musí zabránit posouvání přístroje po podložce při manipulaci s ovládacími prvky (zejména tlačítky),
- nesmí mechanicky poškozovat podložku ani na ní zanechávat skvrny,
- výška nožky nesmí narušit úroveň kompatibilitu.

Navržené řešení používá běžně dostupné materiály, obr. 190. Nožka se skládá

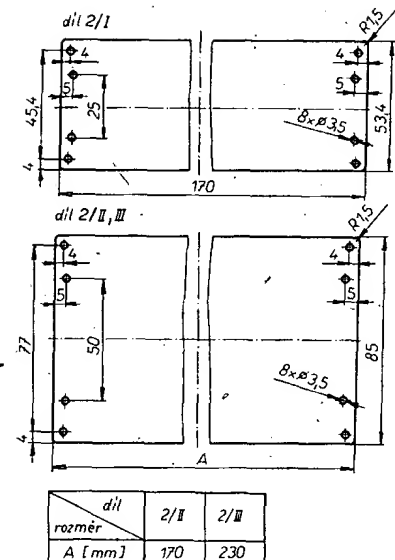


Obr. 190. Provedení přístrojových nožek

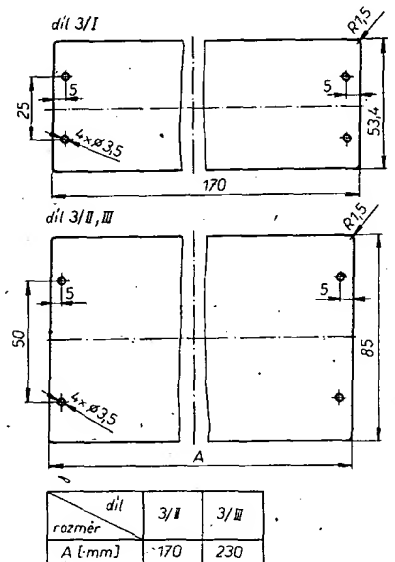
z dílu 9 – pryžové podložky tvořené těsnícím kroužkem vodovodního kohoutku typu T12 3/8"-10 s vnějším průměrem 13,5 mm a vnitřním 4 mm, který má vnitřní hranu sraženou ostrým vrtákem, většího průměru tak, aby při přišroubování šroubem 10 byla hlava šroubu pod úroveň povrchu. Na povrch pak nalepíme ochrannou podložku 11, zhotovenou z molitanu tl. asi 2 až 4 mm. Pokud vystříháme podložku z molitanového těsnění do oken, bývá jedna strana již opatřena lepidlem, jinak použijeme lepidlo „Chemopren“.

h) Pružiny – díl 17

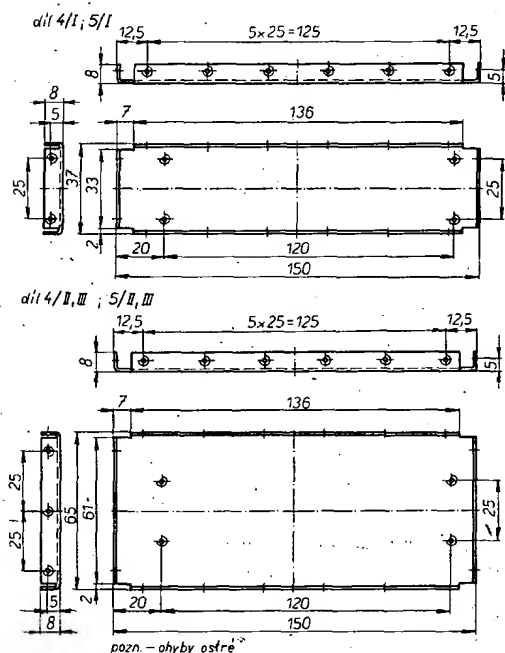
U síťových přístrojů bezpečnostní třídy I požadujeme vodivé propojení sestavy panelů a bočnic s kryty. Zejména použijeme-li jako povrchovou úpravu krytů plastovou fólii, nemůžeme spoléhat na vodivé propojení přes šrouby 14. V takovém případě lze použít pružný kontakt – díl 17. Hroty pružiny při našroubování krytu pronikají i přes povrchovou vrstvu oxidů a zaručují vodivé spojení. Provedení pružiny je na obr. 191. Pružiny doporučujeme



Obr. 185. Subpanel

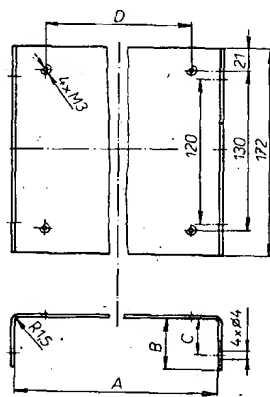


Obr. 186. Zadní panel



pozn. – ohyby ostré

Obr. 187. Bočnice

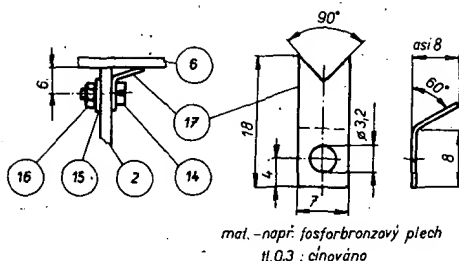


díly 6/I, II, III – bez M3

díly 7/I, II, III – se 4xM3

Typ	Rozměr [mm]			
	A	B	C	D
I	171	26,7	14,2	120
II	171	42,5	30	120
III	231	42,5	30	180

Obr. 188. Horní a dolní kryt



Obr. 191. Pružina pro vodivé spojení krytů

upevnit k subpanelu popř. zadnímu panelu.

1) Spojovací materiál

Pro všechny spoje jsou použity šrouby se závitem M3. Doporučené provedení hlav šroubů je válcové. Máme-li možnost, dáme u šroubů držících kryty přednost provedení s nižší válcovou hlavou nebo s hlavou tvaru nízkého kulového vrchlíku. Obecně šrouby připevňující kryty, přední a zadní panel mají provedením a povrchovou úpravou odpovídat požadavkům na vzhledovou plochu. Všechny spojovací materiály (šrouby, matice, podložky) by měly mít antikorozi povrchovou úpravu. Z konstrukčního hlediska má každá hlava šroubu dosedat na podložku. U vnitřní zástavby lze použít libovolné podložky, pro šrouby na vnějších plochách jsou nejvhodnější podložky z tenkých průhledných fólií (fólie do diářámečku apod.) o vnějším průměru, odpovídajícím hlavě šroubu. Takové podložky se ovšem neprodávají a musíme je zhotovit vystříháním nebo vysekáváním. Po konečné montáži se šroubové spoje zajišťují proti uvolnění zakapáním řídkým acetonovým lakem (musí zatéci do závitů). Lak by měl mít kontrastní odstín (modrá, červená, černá „barva“ na kůži).

Seznam dílů skříně je uveden v tabulce.

Díly přístrojové skříně

Díl	Název	Počet ks	Obrázek č.
1	čelní panel	1	184
2	subpanel	1	185
3	zadní panel	1	186
4	bočnice levá	1	187
5	bočnice pravá	1	187
6	kryt horní	1	188
7	kryt dolní	1	188
8	distanční trubička	4	189
9	podložka pryžová	4	190
10	šroub M3 × 6 mm, zapuštěná hlava	4	-
11	podložka molitanová	4	190
12	šroub M3 × 18 mm, válcová hlava	4	-
13	podložka plastová o Ø 5/3,2 mm	16	-
14	šroub M3 × 6 mm, válcová hlava	18	-
15	podložka ocelová o Ø 7/3,2 mm	8	-
16	matice M3	6	-
17	pružina	2	191

Vzhledem k různým vlastnostem materiálů i vybavení nástroji a nářadím nejsou uvedeny u ohybaných dílů (bočnice 4, 5; kryty 6, 7) rozměry rozvinutých tvarů. Zkrácení ohybem Δ je třeba zjistit zkusem, pro orientaci uvádíme vztah pro výpočet:

$$\Delta = \frac{\pi}{2} \left(R + \frac{t}{3} \right),$$

kde R je poloměr ohybu, t tloušťka materiálu.

Názorným příkladem sestavy přístrojové skříně jsou přístroje popisované v této kapitole. Výhodou uvedeného řešení přístrojových skříní je, že kromě pákových, popř. tabulových nůžek a ohybačky stačí běžné vybavení domácí dílny – rýsovací náčiní, pilníky, pilka na kov, vrtačka se stojanem. Celé potřebné vybavení bývá dostupné v dílnách Svazarmu, Domů pionýrů a mládeže a Stanic mladých techniků.

Povrchová úprava

Díly z hliníkových slitin se upravují mořením, kterým získávají vzhledný stříbrný povrch. Vzhledové plochy čelního a zadního panelu se nejdříve kartáčují nebo brousí jemným smirkovým papírem (jedním směrem). Na povrchu nesmí zůstat zřetelné příčné rýhy ani otisky prstů! K moření se používá hydroxid sodný, rozpuštěný ve vodě v poměru 100 g/l. Doba moření je asi 15 minut. Pozor, lázeň naleptává pokožku, při reakci se vyvíjí plyn naleptávající sliznici! Pracujte proto s ochrannými pomůckami ve větraném prostoru! U tvrdších slitin hliníku se na povrchu dílu vytváří tmavý povlak, který se odstraňuje v lázni získané rozředěním koncentrované kyseliny dusičné vodou v poměru 1:2. Prakticky bylo ověřeno i nouzové řešení – otírání v lázni koncentrované roztoku kyseliny citronové. Po každé lázni následuje důkladný oplach vodou. Díly je nutno po posledním oplachu otřít čistou tkaninou, aby se při zasychání netvořily na povrchu skvrny a pak nechat úplně oschnout. Neosetřený mořený povrch se velmi snadno znečistí, již pouhý dotek prstů zanechává nevzhledné otisky.

Kromě čelního a zadního panelu (určených k popisu, viz dále) proto všechny plochy napouštíme olejem pro šicí stroje.

Poznámka: Místo chemické oxidace je možno použít i elektrolytickou – eloxování. Doporučuje se eloxovat v lázni koncentrované kyseliny sírové rozředěné v poměru 1:4 vodou. Je třeba dodržet přibližné shodné plochy elektrod, např. eloxovat díly po dvojicích. Proudová hustota je asi 1 až 2,5 A/dm² u stejnosměrného a 3 A/dm² u střídavého proudu. Jako zdroj můžeme použít nabíječku akumulátorů. Doba eloxování je asi do 30 minut. Následuje dokonalý oplach. Pórovitý povrch se dále ošetřuje stejně jako po moření.

Povrchová ochrana vnějších ploch panelů 1, 3

Vnější plochy popisujeme s maximální opatrností buď neosetřené (suché obtisky Propisot snadno přilnou), nebo je nejdříve přestříkáme co, nejtenčí vrstvou bezbarvého laku Pragosorb, který ve spreji prodávají prodejny Foto-kino. Vrstvy naše opakovaným nástřikem s prodlevou na zaschnutí tak, že teprve při posledních nástřících se stává povrch laku rovnoměrným. Po dokonalém zaschnutí povrch zdrsíme (stačí zubní pastou) a popisujeme. Popsané panely opět přestříkáme co nejtenčí vrstvou laku opakovaným nástřikem.

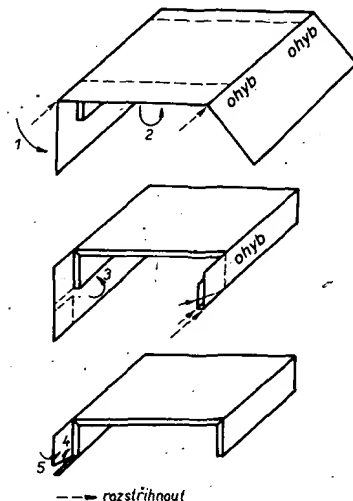
Povrchová ochrana krytů 6, 7

V amatérských podmínkách přichází v úvahu především stříkání barvami ve

sprejích nebo polepování fóliemi. Stříkáme pro lepší přilnavost na čistý eloxovaný nebo mořený povrch tenké vrstvy základní a krycí barvy. Efektivního vzhledu dosáhneme použitím spreje Rallye – černá, matná. Stříkáme celý vnější povrch a hrany, z vnitřního povrchu jen plochu přiléhající k panelům v šířce asi 8 mm. Plochy přiléhající k bočnicím chráníme při stříkání nalepením pásky izolopy, který po zaschnutí laku odtrhneme. Vrstvu oxidu záměrně narušíme smirkováním. Tím dosáhneme požadovaného vodivého spojení s bočnicemi. **Pozn.:** Uvedený způsob propojení se nedoporučuje, používáme-li bočnice zhotovené z ocelového plechu bez galvanického pokovení. (Styk hliník – železo je pro vodivé propojení nepřijatelný. Použijeme proto díl 17.)

U stříkaných povrchů musíme počítat s omezenou dobou života vrstvy, díky menší přilnavosti nevypalovaných laků a nepoužití tzv. reaktivních základových barev.

Další vhodnou povrchovou úpravou je plátování fólií (tapetou), které nevyžaduje předchozí povrchovou úpravu krytů. Nejvhodnější jsou tapety s omyvatelným povrchem, jednobarevné, plasticky imitující kůži (popř. se vzhledem dřeva). Tapety lepíme na odmaštěný povrch (Čikuli) lepidlem Chemoprén. Způsob a pracovní postup je zřejmý z obr. 192.



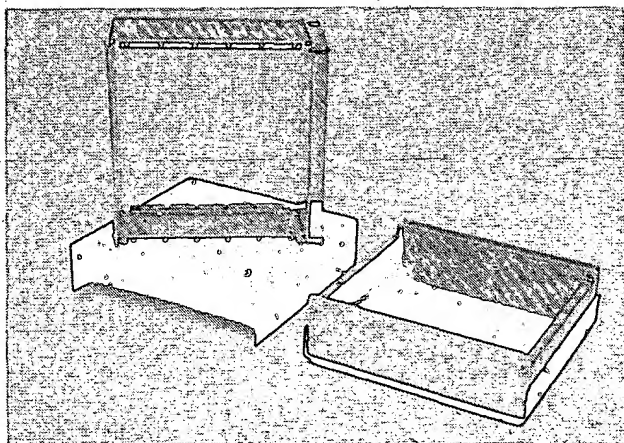
Obr. 192. Postup lepení fólie na kryty

Poznámky k montáži a použití

Konečná montáž musí přihlížet k zástavbě. U přístrojů, které mají jednu „půdorysnou“ desku s plošnými spoji, je tato deska součástí základní montáže. Přihlížíme k poloze ovládacích prvků umístěných na desce a procházejících subpanelem a čelním panelem. Přístroj kompletně na rovné podložce, s výhodou můžeme využívat přímo spodního krytu 7.

Hotová sestava je měřítkem kvality předchozí práce. Při výskytu případných „kosmetických“ vad si však musíme uvědomit, že stejně jako v průmyslové praxi jsou první výrobky vlastně ověřením konstrukce a použitého postupu a způsobu zhotovení.

Ukázka sestavy skříně je na obr. 193, vzhled všech tří popsanych typů skříní je na obr. 194.



Obr. 193. Sestava skříně – ukázka provedení skříně typu I

5. Přístroje ve skříních podle kap. 4

5.1 Měřič kapacity a indukčnosti

Přístroj je určen k rychlému měření reaktančních součástek – kondenzátorů a cívek. Zatímco většina univerzálních měřidel, analogových a číslicových multimetrů umožňuje měřit odpor, od ukončení výroby měřiče LC typu BM366 schází na trhu cenově dostupný přístroj vhodný pro pohotovostní měření nejběžnějších kapacit a indukčností v dílenské praxi. Dále popsaný přístroj měří kapacitu od 100 pF (s rozlišitelností jednotek pF) do 40 μF a indukčnost od asi 100 nH (nejnižší rozsah 1 μH) do 400 mH. Cívky menších indukčností jsou většinou zhotoveny jako samonosné, jednovrstvové vinutí, pro něž můžeme s vyhovující přesností použít výpočet indukčnosti z geometrických rozměrů. Cívky s indukčností větší než 400 mH se v praxi vyskytují ojediněle a můžeme je měřit nf můstkem. Předností přístroje je snadné a pohotovostní měření při experimentálních i servisních pracích. Elektronici ocení možnost kontrolovat cívky a kondenzátory, ať již nové, nebo získané demontáží, před každým užitím. Použitím přístroje učiníme konec tápání při práci s laděnými obvody, neboť cívky, nemůžeme-li je měřit, patří k nejméně oblíbeným součástkám.

Základní technické údaje

a) Měření kapacity

Rozsah měření: v šesti dekadických rozsazích 100 pF až 10 μF zdvojených tlačítkem „x1/x4“.

Nejmenší měřitelná kapacita: dána rozlišovací schopností, jednotky pF.

Chyba měření: max. ±10 % na rozsazích 100 pF, 10 μF, max. ±5 % na rozsazích 1 nF až 1 μF z plné výchylky ručky měřidla.

Průběh stupnice: lineární.

b) Měření indukčnosti

Rozsah měření: v šesti dekadických rozsazích 1 μH až 100 mH zdvojených tlačítkem „x1/x4“.

Nejmenší měřitelná indukčnost: asi 100 nH.

Chyba měření: max. ±10 % z plné výchylky ručky měřidla.

Průběh stupnice: lineární.

Referenční teplota: +23 °C.

Pracovní teplota okolí: +10 až +35 °C.

Napájení: síť 220 V, 50 Hz.

Max. příkon: 6 VA.

Jištění: tavnou pojistkou.

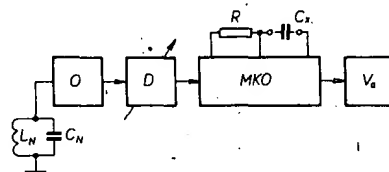
Osazení: integrované obvody 6 ks, tranzistory 13 ks, diody 17 ks.

Rozměry, hmotnost: 175 × 60 × 190 mm; asi 1,4 kg.

Princip činnosti

a) Měření kapacity

Skupinové schéma zapojení měřiče kapacit s lineární stupnicí je na obr. 195.



Obr. 195. Skupinové schéma měřiče kapacity

Oscilátor O kmitá na kmitočtu, určeném parametry laděného obvodu L_N, C_N . Kmitočet výstupního signálu je dělen děličem D. Podle stupně zvoleného dekadického dělení N je určen měřicí rozsah. Impulzy z výstupu děliče je spouštěn monostabilní klopný obvod MKO. Dobu kyvu MKO určuje odpor R rezistoru a kapacita C_x měřeného kondenzátoru. U integrovaného MKO typu 74121 platí pro šířku výstupního impulsu

$$t_1 = RC_x \ln 2.$$

Bude-li opakovací kmitočet impulsů stálý (zajištěno stabilitou parametrů laděného obvodu L_N, C_N) a úroveň U_i impulsů na výstupu MKO konstantní, platí při měření střední hodnoty napětí U_a voltmetrem V_a :

$$U_a = \frac{f}{N} U_{fi}$$

a po dosazení

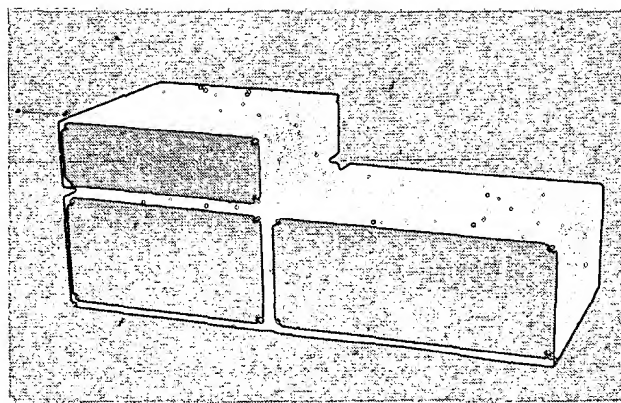
$$U_a = \frac{f}{N} U R C_x \ln 2,$$

$$\text{tzn. } U_a \sim C_x$$

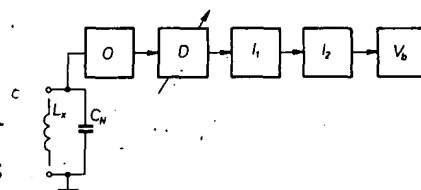
– údaj voltmetru je tedy přímo úměrný kapacitě C_x kondenzátoru.

b) Měření indukčnosti

Skupinové schéma měřiče indukčnosti s lineární stupnicí je na obr. 196.



Obr. 194. Vzhled přístrojových skříní typu I, II a III



Obr. 196. Skupinové schéma měřiče indukčnosti

Po připojení měřené cívky se oscilátor rozkmitá na kmitočtu daném Thomsonovým vztahem

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_x C_N}}$$

kde L_x je indukčnost měřené cívky a C_N kapacita normálového kondenzátoru.

Úpravou dostáváme

$$L_x = \frac{1}{4\pi^2 f^2 C_N}$$

tzn. indukčnost je nepřímo úměrná čtverci kmitočtu

$$L_x \sim \frac{1}{f^2}$$

Použijeme-li obvod, který realizuje funkci

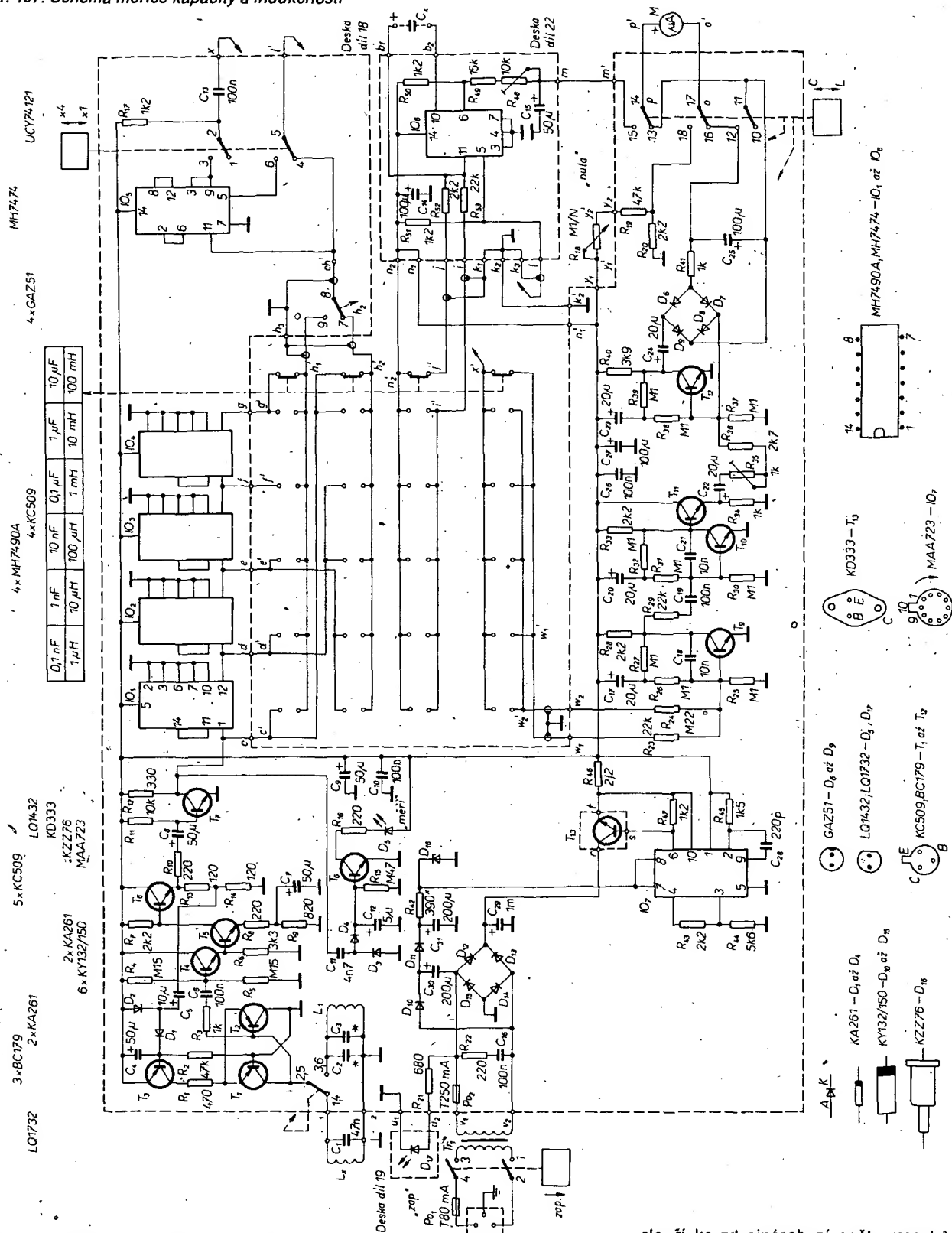
$$U_b = \frac{1}{f^2}$$

a budeme-li U_b měřit střídavým voltmetrem, bude údaj voltmetru přímo úměrný indukčnosti. Takovým obvodem je kaskáda dvou integrátorů I_1, I_2 , která tvoří dolní propust, jejíž přenos se zmenšuje se zvyšováním kmitočtu se strmostí 12 dB/okt. Tj. při zvýšení kmitočtu 2× se výstupní napětí zmenší 4×. Dělič kmitočtu D slouží ke změně rozsahu. Vzhledem k funkci se zařazením dělení 10× zmenší rozsah 100×. Krok změny rozsahu 10× se proto ve skutečném zapojení řeší změnou časové konstanty integrátoru.

Popis zapojení

Úplné schéma měřiče kapacit a indukčnosti je na obr. 197. Oscilátor tvoří emitorově vázaná dvojice tranzistorů T_1, T_2 .

Obr. 197. Schéma měřiče kapacity a indukčnosti



Takové zapojení pracuje v širokém poměru L/C rezonančního obvodu určujícího pracovní kmitočet. Následuje oddělovací stupeň (T₄), zesilovač (T₅), emitorový sle-

dovač (T₆) a obvod řízení amplitudy s detektorem D₁, D₂, který ovládá proudový zdroj (T₃).

Stupeň s T₇ převádí signál na úroveň potřebné pro obvody TTL - děliče kmitočtu (IO₁ až IO₄). Dvojitý klopný obvod IO₅

slouží ke zdvojnásobení počtu rozsahů tlačítkem „x1/x4“. Podle nastavené funkce přístroje přichází signál buď na monostabilní klopný obvod IO₆ při měření kapacity, nebo na kaskádu integrátorů (T₉, T₁₀), sledovač (T₁₁) a nF voltmetr (T₁₂) při měření indukčnosti. Obvod indikace (T₈) svítení diody D₅ signalizuje, že oscilátor kmitá.

Režim měření kapacity

Oscilátor kmitá na pevném kmitočtu určeném obvodem L_1 , C_2 , C_3 . Teplotní a časová stabilita laděného obvodu přímo určují vlastnosti přístroje. Proto používáme cívku bez feromagnetického jádra, která má kladný teplotní součinitel indukčnosti, a polystyrénový kondenzátor (C_3) se záporným teplotním činitelem kapacity pro částečnou kompenzaci. Jmenovitý pracovní kmitočet není kritický, vyhovuje asi 350 až 500 kHz. K případnému nastavení nebo ke složení kondenzátorů s různými teplotními součiniteli kapacity je určena pozice C_2 na desce s plošnými spoji. Dioda D_5 svítí při měření kapacity trvale i při prázdných měřicích svorkách a přispívá tak k rychlé orientaci obsluhy o tom, v jakém režimu přístroj pracuje. Na nejnižším rozsahu „100 pF“ při měření kapacit se kmitočet oscilátoru nedělí.

Postupným přepínáním přepínače rozsahů na výstupu kaskády děličů IO_1 až IO_4 se měřicí rozsah zvyšuje vždy $10 \times$ až po „1 μF “. Další rozsah „10 μF “ se získává přepojením rezistoru MKO z R_{53} na R_{52} s $10 \times$ menším odporem.

Při stisknutí tlačítka „x1/x4“ se zařazuje přídavné dělení kmitočtu $4 \times$ dvojicí klopných obvodů z IO_5 a tím se zvětšuje i nastavený rozsah $4 \times$. Monostabilní klopný obvod UCY74121 (IO_6) je spouštěn náběžnou hranou impulsu přiváděných na vstup 5. Díky hysterese na tomto vstupu (Schmittův klopný obvod) se zlepšuje šumová imunita a tvaruje se signál. Výstupní signál je odebrán z výstupu Q (vývod 6). Odporem R_{50} je zajištěna konstantní výška impulsů (odpovídá napájecímu napětí). Trimmer R_{48} je základní prvek kalibrace v režimu měření kapacit, C_{15} potlačuje kmitání ručky měřidla na nejvyšších rozsazích. Obvod R_{18} , R_{19} , R_{20} slouží ke kompenzaci nežádoucí výchylky ručky při prázdných měřicích svorkách, která je způsobena nenulovým napětím výstupu 6 obvodu IO_6 při logické úrovni L, a parazitní kapacitou svorek a přívodů.

Režim měření indukčnosti

Pracovní kmitočet oscilátoru určuje rezonanční obvod L_1 , C_1 . Jakost C_1 ovlivňuje stabilitu přístroje a nejmenší měřitelnou indukčnost. Nejvhodnější jsou typy kondenzátorů s izolací polystyrénovou fólií, zejména typy s potlačenou vlastní indukčností. Po připojení měřené cívky se oscilátor rozkmitá, dioda D_5 (žlutá) se rozsvítí. Nesvítící dioda značí převážně vadnou cívku nebo cívku s velmi malou indukčností. Rozsahy se mění střídavě přepínáním výstupů dekadických děličů IO_1 , IO_2 (změna rozsahu $100 \times$) a rezistorů R_{23} a R_{24} (změna rozsahu $10 \times$).

Na nejnižším rozsahu (připojen R_{24}) je zařazen nejvyšší stupeň dělení, tj. signál se odebrá z výstupu IO_2 a připojeny jsou oba klopné obvody z IO_5 . Jeden z nich je zařazen trvale – dělení dvema je zajištěno, že na integrátory vždy přichází signál se střídou 1:1. Druhý klopný obvod se vyřazuje při zvětšení rozsahu stisknutím tlačítka „x1/x4“. Integrátory jsou osazeny tranzistory T_9 , T_{10} typu KC509. Integrovanými kondenzátory jsou C_{18} a C_{21} . S ohledem na časovou a teplotní stálost jsou použity polyesterové kondenzátory typu TC 279, popř. polystyrénové kondenzátory typu TGL 5155.

Emitorový sledovač (T_{11}) brání nežádoucímu zatěžování druhého integrátoru. Na jeho výstup s malou impedancí je připojen obvod ní milivoltmetru osazený tranzistorem T_{12} . Výhodou je jednodu-

chost zapojení, nevýhodou nutnost použít neperspektivní prvky – čtveřici germaniových diod GAZ51. Základním prvkem kalibrace pro měření indukčnosti je R_{35} .

Předností obvodového řešení celého přístroje je napájení pouze jediným napájecím napětím +5 V. Napájecí zdroj zajišťuje požadovanou stabilitu napájecího napětí, která přímo ovlivňuje výsledky měření. Současně umožňuje použít nejrozumnější síťové transformátory ze sortimentu transformátorů, určených pro přenosné přijímače s napájecím napětím 9 V. Nejobtektivnější zkouška pro zjištění, zda ten či onen transformátor můžeme použít, spočívá v tom, že zapojíme na zkušební desce obvod usměrňovače D_{12} až D_{15} s vyhlazovacím kondenzátorem C_{29} a připojíme jej k transformátoru (i s tavnými pojistkami). Po zapnutí obvod zatížíme reostatem nebo zátěží z pevných rezistorů proudem asi 200 mA. Změříme napětí sítě U_{st} a výstupní stejnosměrné napětí U_{ss} . Dosazením do uvedeného vztahu spočítáme, jaké stejnosměrné napětí $U_{ss \min}$ dostaneme pro napětí sítě 198 V (tj. 220 V – 10 %):

$$U_{ss \min} = U_{ss} \frac{198}{U_{st}}$$

Bude-li výsledné napětí v rozmezí 8 až 12 V, transformátor vyhovuje. Za cenu většího rozptýleného výkonu na regulačním tranzistoru T_{13} můžeme připustit i větší napětí, např. 12 až 18 V. V takovém případě neosazujeme obvod násobiče napětí D_{10} , D_{11} , C_{30} , C_{31} , R_{42} , D_{16} a připojíme

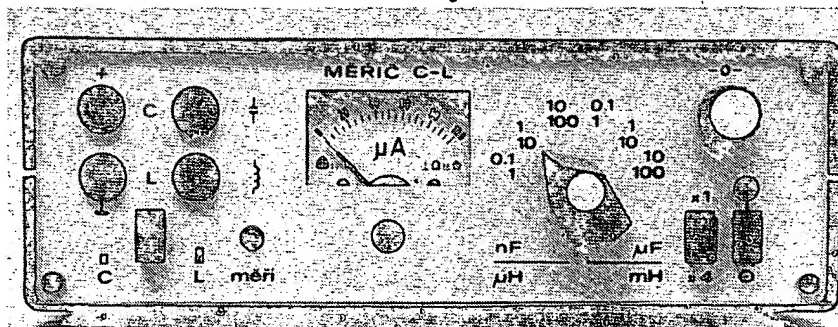
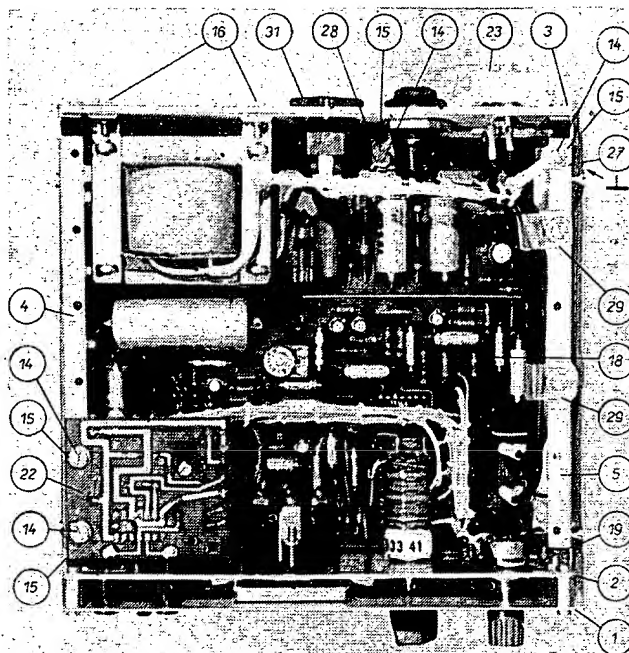
stabilizátor IO_7 (vývody 7, 8) přímo na kladný pól C_{29} . Integrovaný stabilizátor typu MAA723H je zapojen v doporučeném zapojení (podle výrobce), R_{46} určuje zkratový proud obvodu – proudové omezení – asi na 280 mA. Výstupní napětí stabilizátoru (5 V $\pm 0,25$ V) určují rezistory R_{43} , R_{44} . Sekundární obvod transformátoru je chráněn tavnou pojistkou, aby byl transformátor jistěn při poruchových stavech, kdy ještě nevyplní pojistka v primárním obvodu (zkrat v obvodu násobiče napětí). Člen R_{22} , C_{16} potlačuje rušení vznikající spínacími jevy na usměrňovacích diodách.

Provozní stav přístroje indikuje svítivá dioda D_{17} , normou předepsané zelené barvy. Je napájena jednoduše usměrněným (pulsujícím) napětím. Tím je zajištěno, že zhasíná okamžitě po vypnutí síťového tlačítka, zatímco při běžném napájení filtrovaným usměrněným napětím by pohasínala se zpožděním, závislým na vybíjení C_{29} . Schéma na obr. 197 respektuje některá doporučení pro provedení uživatelské dokumentace. Čárkované čáry ohraničují obvody umístěné na deskách s plošnými spoji. Označení kontaktů přepínačů a přehled zapojení vývodů použitých polovodičových prvků usnadňuje zhotovení, oživení a nastavení i opravy přístroje.

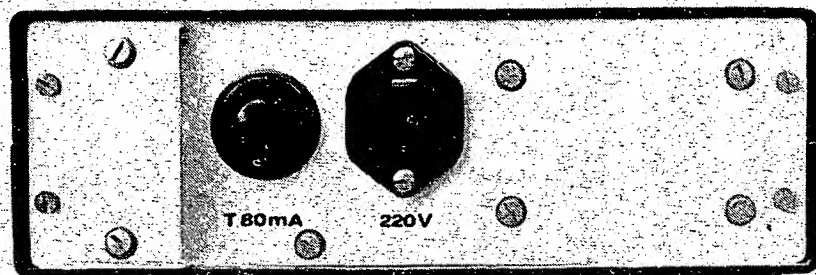
Konstrukční provedení

Přístroj je vestavěn do přístrojové skříně typu I. Pohled na vnitřní zástavbu je na

Obr. 198. Pohled na vnitřní zástavbu měřiče



Obr. 199. Čelní pohled na měřič



Obr. 200. Pohled na zadní panel měřiče

obr. 198, čelní pohled na obr. 199 a pohled na zadní stěnu na obr. 200. Číslování základních dílů skříně odpovídá obr. 182 a tabulce v závěru kap. 4, ostatní díly jsou uvedeny v rozpisce mechanických dílů. Většina součástek je na základní desce s plošnými spoji 18. Obvod monostabilního klopného obvodu $1Q_6$ na samostatné desce 22 je pro dosažení minimálních parazitních kapacit umístěn v těsné blízkosti měřicích svorek. Obrazec plošných spojů desek 18, 22-i držáku 19 svítivé diody D_{17} je na obr. 201. Jejich vrtací

předpis je na obr. 202 a osazovací plán na obr. 203.

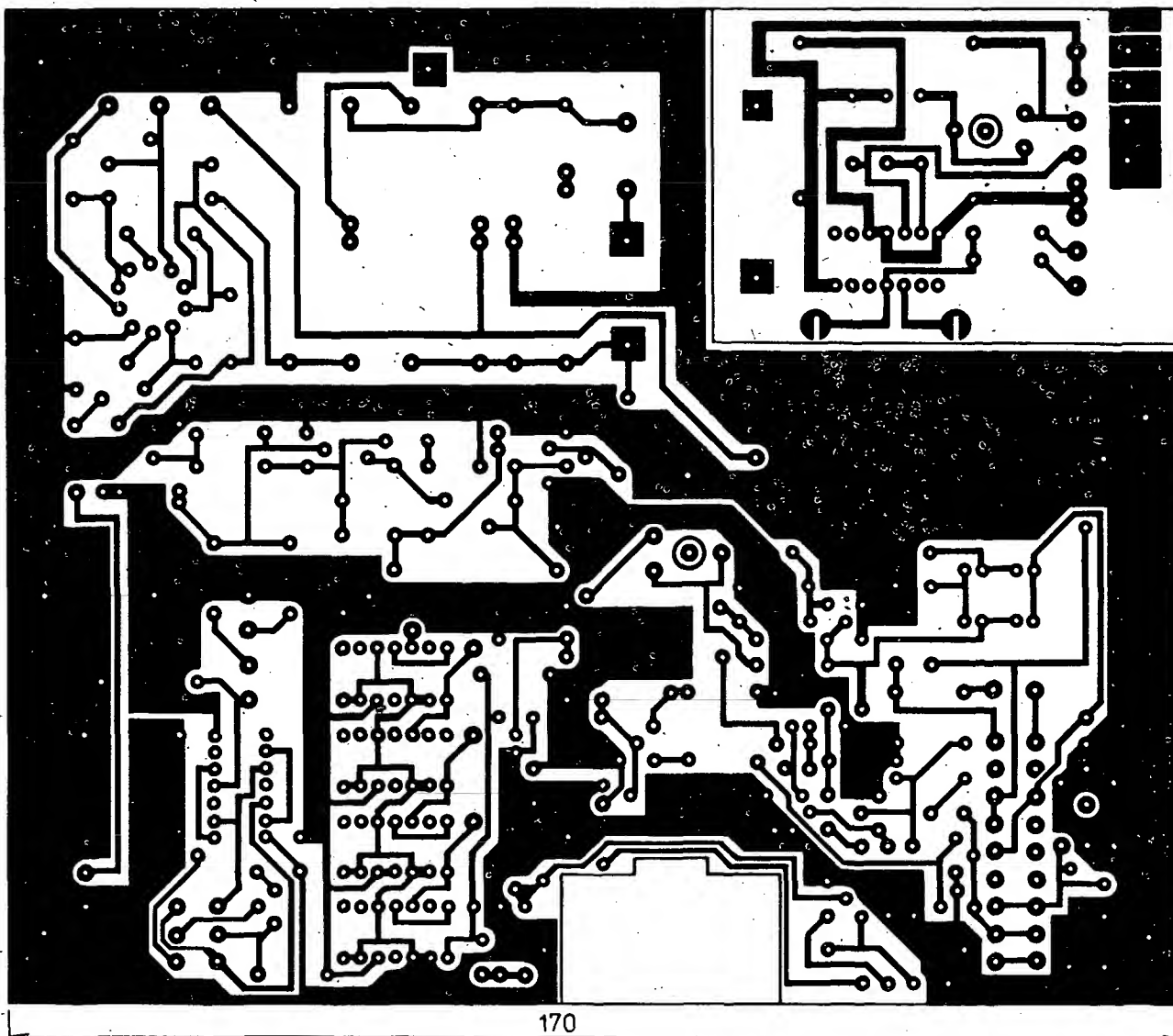
Výkresy panelů jsou na obr. 204, 205, 206, kryt tranzistoru je na obr. 207.

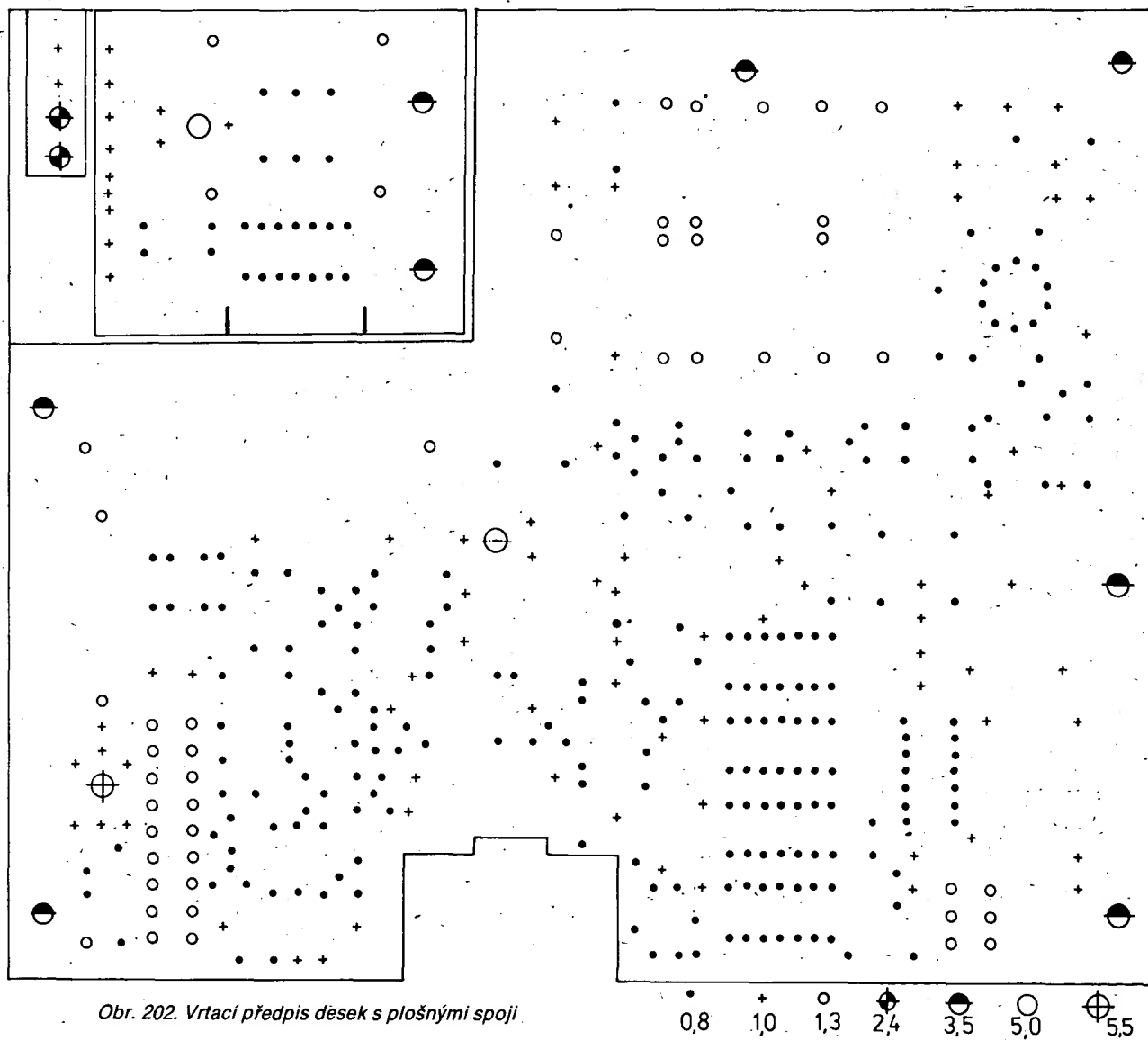
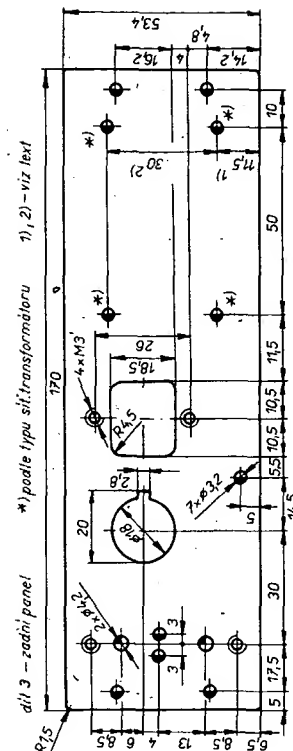
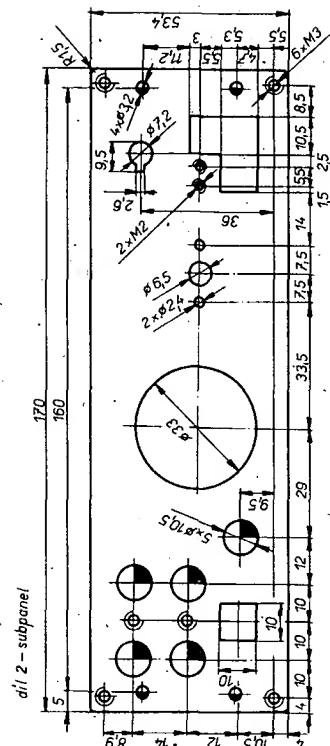
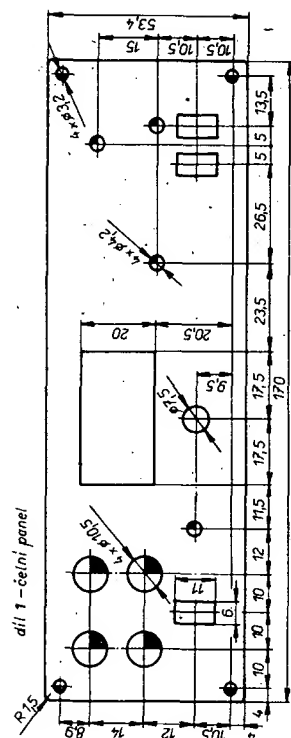
Na subpanelu jsou připevněny měřicí svorky (dvozdířky WK 454 03), měřidlo M, potenciometr R_{18} a držák svítivé diody D_{17} – viz obr. 209. Na zadním panelu jsou upevněny síťový transformátor, síťová převodka, pojistkové pouzdro, úhelníček, zpevňující uchycení desky 18 a tranzistor T_{13} s ochranným krytem 23. Tranzistor T_{13} je připevněn izolovaně podle obr. 210.

Rozsahy se přepínají otočným přepínačem. Ve vzorku byl použit přepínač typu WK 533 41 se čtyřmi segmenty, zapojený podle obr. 208. Vzhledem k ceně přepínače stojí za úvahu použít typ WK 533 38 (i za cenu méně pohodlného zapojení), nebo přepínač z řady TS 121, např. 121 3122/06. Ostatní přepínače jsou tlačítkové typu Isostat. Pro přepínání funkce C/L je použito aretované tlačítko s šestici přepínacích kontaktů. Síťový spínač a přepínač „x1/x4“ tvoří tlačítkovou soupravu sestavenou z tlačítka s dvojicí přepínacích kontaktů (s aretací) a ze síťového tlačítka, tlačítka jsou těsně u sebe. Přepínače jsou zapájeny do desky s plošnými spoji 18. Propojovací vodiče jsou uspořádány převážně do dvou svazků (obr. 208). Jeden slouží k propojení síťových obvodů, včetně propojení kostry přístroje s kontaktem vývodky, připojeným k ochrannému vodiči; druhý k propojení součástí, umístěnými na subpanelu, s deskou MKO aj.

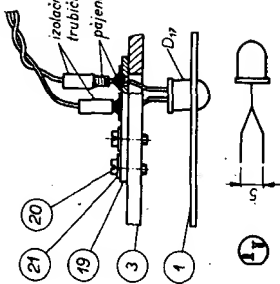
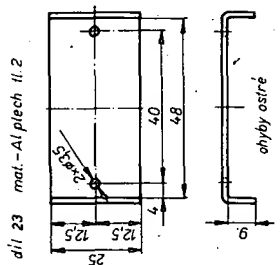
Stavba přístroje

Zhotovíme mechanické díly uvedené v rozpisce. Polohu děr, označených na výkresu zadního panelu hvězdičkou, přizpůsobíme použitému síťovému transformátoru. Podle možnosti a trpělivosti zvo-



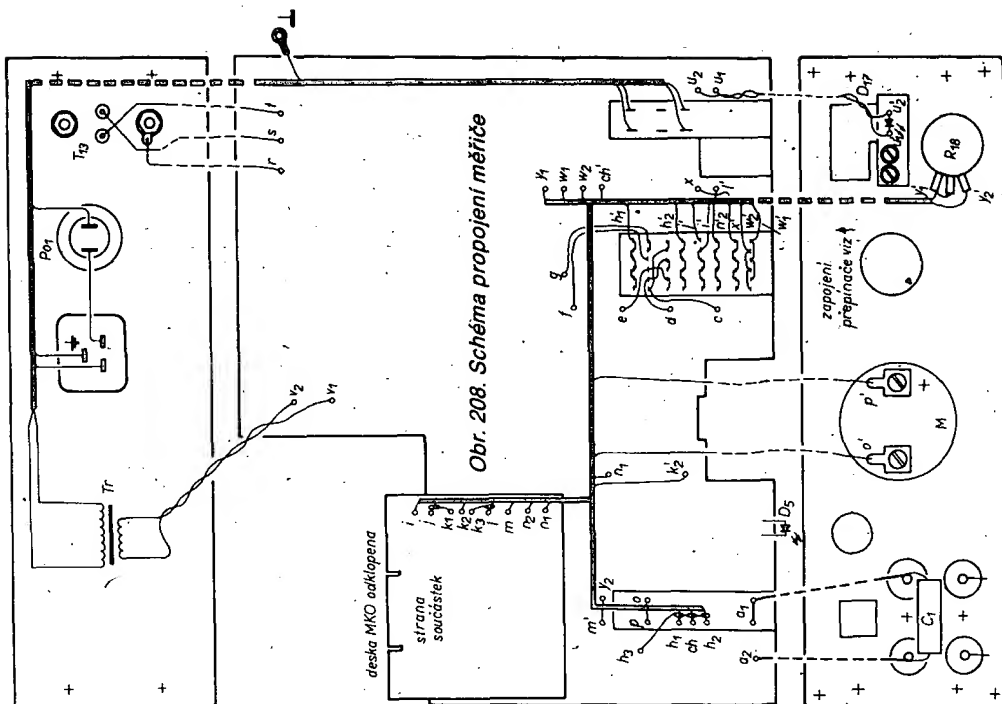


díl 23 mal.-Al plech tl. 2

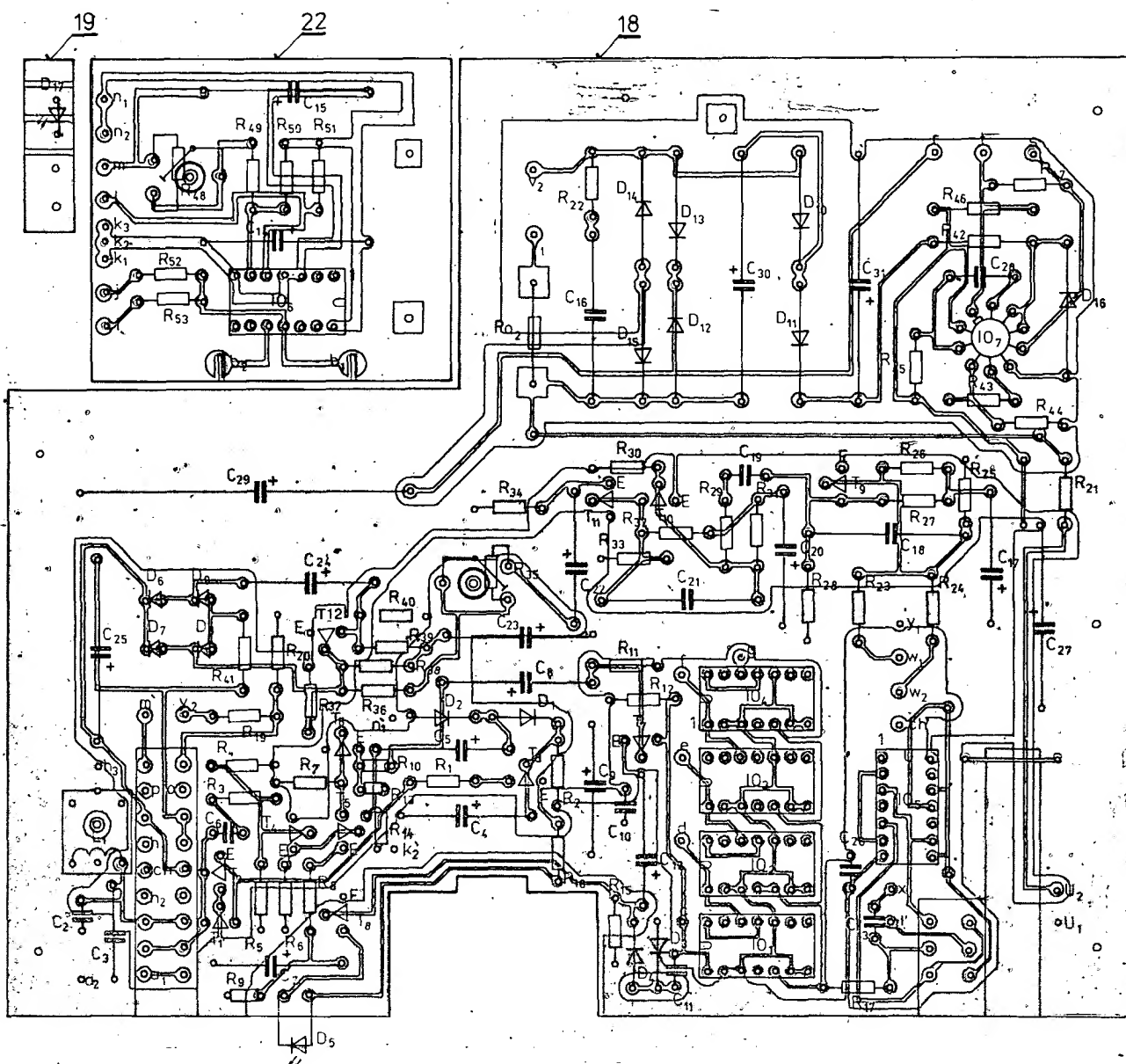


Obr. 207. Kryt tranzistoru

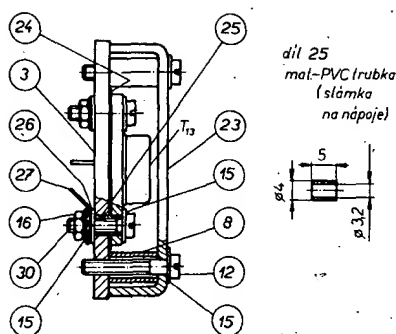
Obr. 209. Montáž D17



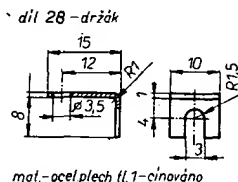
Obr. 208. Schéma propojení měřice



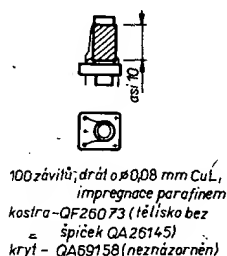
Obr. 203. Osazovací plán desek s plošnými spoji



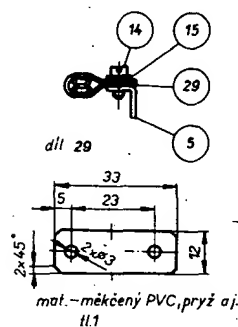
Obr. 210. Montáž T_{13} na zadní panel



Obr. 211. Držák pro uchycení desky s plošnými spoji k zadnímu panelu



Obr. 212. Provedení cívky L_1



Obr. 213. Upevnění síťových vodičů vedených ke spínači

líme provedení větracích otvorů na krytech přístroje. (Např. 12 štěrbíkových otvorů 3×30 mm v rozteči 12 mm a vzdálených 30 mm od zadní hrany krytu.) Při vrtání kruhových větracích děr může být maximální průměr díry 3,8 mm. Plocha všech vrtaných děr by měla být srovnatelná s plochou všech štěrbíkových průduchů.

Novinkou v dokumentaci desek s plošnými spoji v AR je vrtací předpis na obr. 202. Před osazením desek pečlivě kontrolujeme spoje a případné závady odstraníme. Zdvíjené čáry na osazovacím plánu – obr. 203 – značí drátové propojky. K propojení používáme vodiče o \varnothing 0,5 mm. Propojku umístěnou mezi rezistory R_{25} a R_{21} ponecháme zatím rozpojenou. Kontakty držící Po2 získáme demontáží ze starších zařízení, v nouzi je zhotovíme sami. Tlačítkové přepínače do desky nasuneme, ale nepájíme. Neosazujeme diodu D_5 , nepájíme ani naznačené trmice z propojovacího vodiče, zpevňu-

jící síťové tlačítko. Doporučené provedení cívky je na obr. 212. Pozice C₂, C₃ osazujeme podle pokynů v odst. „Nastavení“. Před další prací je výhodné na zkoušku složit celý přístroj po mechanické stránce.

Dvojdičky jsou k subpanelu připevněny šroubky M3 x 10 mm s podložkou. Měřidlo je podloženo pásky molitanu (těsnění do oken) tak, že průměrným utažením upevňovacích šroubů dosáhneme toho, že právě přiléhá k čelnímu panelu. Výhodné je doplnit ze spodní strany stupnici měřidla označením dílků 0–100–200–300–400. Montáž D₁₇ popisuje obr. 209, tranzistor T₁₃ obr. 210. V poloze, kdy hmatníky tlačítkových přepínačů procházejí symetricky otvory v čelním panelu, zapájíme přepínače do desky, včetně zpevňovacího třmínku síťového tlačítka. Osadíme diodu D₅ tak, aby se nacházela v úrovni čelního panelu jako D₁₇ a zapájíme ji do desky. Hřídle přepínače rozsahů a potenciometru R₁₈ zkrátíme tak, aby vyčnívaly nad úroveň čelního panelu 5 až 5,5 mm. Potom přístroj demontujeme a díly povrchově upravíme. Čelní a zadní panel popíšeme podle obr. 199 a 200 Propisoty 3 VMN 97 02,5 černé a červené barvy. Červené jsou znaky „+“ a „C“ u měřících svorek, horní číslice stupnice přepínačů rozsahů; jednotky „nF“, „μF“ a znak nuly u potenciometru R₁₈. Tedy vše, co má souvislost s měřením kapacity. Definitivně sestavíme mechanické díly. Upevníme součásti na subpanel. Kontakty přepínače rozsahů před montáží propojíme mezi sebou neizolovaným vodičem o Ø 0,2 až 0,5 mm podle obr. 208. Po osazení zadního panelu ověříme ohmmetrem izolované upevnění tranzistoru T₁₃. Zkompletujeme sestavu – mimo desku MKO, čelní panel a horní a dolní kryt. Obvody propojíme připraveným drátovým svazkem, nebo postupně jednotlivými vodiči, které potom do svazky vyvážeme. Při propojení vycházíme z obr. 208 a obr. 197. Body *c-c'*, *d-d'*, *e-e'*, *f-f'*, *g-g'* jsou propojeny vodiči o Ø 0,5 mm s různobarvnými izolacemi přímo mezi deskou s plošnými spoji a přepínačem. Stejným typem vodičů je připojen tranzistor T₁₃ (do bodů *r*, *s*, *t*) i dioda D₁₇. Přívody k ní – vodiče *u₁ – u₁₁*, *u₂ – u₂₂* jsou vzájemně zkrouceny.

Pro spojení ve svazcích použijeme přednostně tenká izolovaná lanka. Vodiče $w_1 - w'_1, w_2 - w'_2, i - i', j - j', h - h', h_2 - h'_2, ch - ch'$ a $l - l'$ jsou tenké kabelky. Připojení stínění je většinou zřejmé z obr. 197. U vodičů $w_1 - w'_1, w_2 - w'_2$ jsou stínění připojena na zemnicí očko potenciometru R_{18} .

Pozn. Bod y_2 značí u R_{18} začátek odporové dráhy. Měřící svorky L jsou propojeny s body a_1, a_2 pocínovaným vodičem o \varnothing 0,8 až 1 mm. Pájecím bodem a_1 jsou kontakty 1 a 4 přepínače! Přímou na svorkách, s minimální délkou vývodů, je připájen C₁. K měřicím svorkám C jsou připájeny měřící vodiče o \varnothing 0,5 mm, směřující vzhůru v délce asi 10 mm. Jsou připojeny na pájecí body b_1, b_2 (se zářezem) a tím přizpůsobené pro snadnou montáž a demontáž desky MKO, kterou pak lze odklápět po odsroubování dvojice šroubků M3. Při pájení na očka, vývody přepínačů atd. přetahujeme přes pájené spoje izolační plastové trubičky (tzv. bužírky). U vodičů pod síťovým napětím nesmí být v přístroji žádný neizolovaný kontakt. K propojení síťová přívodka – pojistkové pouzdro – síťový spínač – primární vinutí transformátoru je použita dvojlinka s jádrem z měděného lanka o průřezu 0,35 mm². Přívod ke spínači je připevněn dvěma pásky – díl 29, podle obr. 213. Ochranný kolík přívodky je spojen s kostrou vodi-

čem s izolací předepsané žlutozelené barvy. Získáme jej např. z třípramenné flexošňůry. Místo „ukostření“ na pravé bočnici je označeno na obr. 198. Vyžadujeme kvalitní spoj – vodič je připojen ke kabelovému oku, překrytému podložkou a dotaženému šroubem M3 x 6 mm. Nezapomeneme jej zakápnout lakem, aby se samovolně neuvolnil ořesý. Všechny uvedené díly spoje musí mít kvalitní antikorozní úpravu.

Poslední operací montáže je připevnění čelního panelu.

Nastavení

Nejdříve oživíme napájecí zdroj – spojka propojující zdroj s ostatními obvody je stále rozpojena. Jestliže nevznikla chyba při montáži a nebyla osazena vadná součástka, musí zdroj pracovat na první zapojení.

Odpor rezistoru R_{42} upravíme tak, aby rezistorem protékal proud 15 až 20 mA (měříme na něm úbytek napětí a počítáme). Liší-li se výstupní napětí od požadované velikosti $+5\text{ V} \pm 0,25\text{ V}$, změníme R_{43} nebo R_{44} (např. připojením přidavného rezistoru paralelně k jednomu z nich ze strany spoju). Ověříme funkci elektronické pojistky připojením náhradní zátěže a postupným zvětšováním odebraného proudu při současně kontrole výstupního napětí. Při odběru do 200 mA by se napětí nemělo patrně měnit. Zapájíme propojku a tak připojíme ostatní obvody. Přepneme přístroj na měření kapacity. Oscilátor musí kmitat, dioda D_5 svítit. Orientačně zjistíme pracovní kmitočet oscilátoru. Nemáme-li k dispozici čítač, plně vyhoví odposlech 2. harmonické oscilátoru tranzistorovým přijímačem v pásmu středních vln. Pracovní kmitočet má být asi 350 až 500 kHz. Osciloskopem se můžeme přesvědčit na výstupech I_2 obvodů IO_1 a IO_4 , je-li základní kmitočet postupně dělen. Při prázdných svorkách a nastaveném nejnižším rozsahu musí být možno nastavit potenciometrem R_{18} nulovou výchylku měřidla.

Na měřící svorky připojíme kvalitní přesný kondenzátor (alespoň 1 %) s kapacitou blízkou max. kapacitě rozsahu – nejlépe 10 nF, 0,5 %; polystyrenový typu WK 71601, TC 279 apod. Trimrem R_{48} nastavíme požadovanou výchylku ručky měřidla na příslušném rozsahu. Nelze-li kapacitu nastavit, nebo je-li běžec trimru v těsné blízkosti „dorazu“, upravíme odpor R_{49} . Podobně úpravou R_{18} příp. i R_{20} dosáhneme toho, aby potenciometer R_{18} byl natočen přibližně do střední polohy při nastavené nule měřidla. Podle možností (dostupných kondenzátorů větších kapacit) ověříme chybu měření na dalších rozsazích. Chybu měření na rozsahu „10 μF “ ovlivňuje poměr odporů rezistorů R_{52} a R_{53} , který má být 1:10.

Poslední rozsah je používán téměř výhradně k měření elektrolytických kondenzátorů s běžnou výrobní tolerancí -10 až +100% a nezanedbatelnými ztrátami. Požadavky na přesnost jsou proto minimální a pro R_{S2} a R_{S3} jsou předepsány tolerance $\pm 5\%$.

Přístroj přepneme do funkce měření indukčnosti. Připojíme kvalitní cívku známé indukčnosti blízké 100 μH . Můžeme použít robustní křížové vinutou DV cívku ze starších přijímačů, z níž odstraníme jádro a podle potřeby upravíme počet závitů. Upevníme ji na obdélníček sklola-

minátu a opatřime krátkými vývody s banánky. Po připojení cívky se musí dioda D_5 rozsvítit. Zařadíme příslušný rozsah a trimrem R_{35} nastavíme požadovanou výchylku ručky přístroje. Podobně jako při kalibraci při měření kapacit upravíme podle potřeby odpor rezistoru R_{36} . Pro změnu rozsahu $10 \times$ se přepínají R_{23} , R_{24} . Požadujeme, aby R_{24} tvořil desetinásobek R_{23} . Nemáme-li možnost použít rezistory s tolerancí odporu $\pm 1\%$, musíme je změřit na přesném měřiči a případně složit např. z rezistorů typu TR 213.

Po nastavení celého přístroje ošetříme desky s plošnými spoji a zakápneme lakem všechny šroubové spoje, je vhodné důkladně prověřit vlastnosti měřiče v obou režimech, např. kontrolovat „dobu náběhu“ tak, že k přístroji, který nebyl alespoň 30 minut v provozu, připojíme stabilní kondenzátor nebo cívku a zapneme jej. Od prvního okamžiku po zapnutí sledujeme a zapisujeme měřený údaj. Nejdříve po minutách, pak kontrolní intervaly prodlužujeme na desítky minut a po asi 3 hodinách, kdy je předpoklad dostatečného prohřátí přístroje, zkoušku ukončíme. Dále zkusíme vliv vnějšího ohřevu obvodů teplým vzduchem (vysoušečem vlasů) pro získání představy o závislosti chyby měření na teplotě. Přitom dbáme, abychom neohřívali současně měřenou součástku.

Poznámky k použití

I když způsob měření je jednoduchý, uvedeme stručný návod k obsluze.

Po připojení k síti zapneme přístroj stisknutím síťového tlačítka. Současně se nad tlačítkem rozsvítí kontrola zelené barvy. Zvolíme režim přístroje tlačítkem „L/C“. Připojíme měřenou součástku k příslušným svorkám. V režimu měření kapacit bude svítit trvale i žlutá kontrolka „MĚŘÍ“. Při měření indukčnosti se rozsvítí až po připojení cívky. Přepínačem rozsahů a tlačítkem „x1/x4“ nastavíme vhodný rozsah a přečteme kapacitu nebo indukčnost.

Přístroj nevyžaduje zvláštní údržbu. Doporučujeme kalibrační kondenzátor a cívku uchovávat jako etalon pro občasnou kontrolu a kalibraci. Podle možnosti je vhodné kontrolovat periodicky stabilitu jejich parametrů. Dále doporučujeme uživatelům, aby si podle vlastní fantazie a možnosti zhotovili přípravky k měřícím svorkám (např. krokosvorky opatřené kolíkem z banánku, pružinové kontakty aj.). Přípravky pomohou jednak urychlit připojování, jednak připojení přímo na měřící svorky je pro měření malé indukčnosti a malé kapacity nezbytné.

Rozpiska mechanických dílů

Rozpiska uvádí jen nové díly, neuvedené v tabulce v kapitole 4 a díly, které jsou upraveny:

Díl	Název	Počet ks	Obrázek č.
1	čelní panel	1	204
2	subpanel	1	205
3	zadní panel	1	206
18	deska s plošnými spoji (základní)	1	203
19	deska s plošnými spoji (držák D_{17})	1	203

20	šroub $M2 \times 5$ – válcová hlava	2	–
21	podložka o $\varnothing 5/2,2$ mm	2	–
22	deska s plošnými spoji (MKO)	1	203
23	kryt tranzistoru	1	207
24	podložka slídová pod pouzdro tranzistorů řady KD330	1	–
25	trubička izolační	2	210
26	podložka pertinaxová o $\varnothing 7/3,2$ mm	2	–
27	oko pájecí jednostranné o $\varnothing 3,2$ mm	1	–
28	držák	1	211
29	páska	2	213
30	šroub $M3 \times 10$ mm, válcová hlava	10	–
31	šroub $M3 \times 10$ mm, zápuštěná hlava	2	–

K počtu dílů uvedených v tabulce v kapitole 4 přibudou: díl 8, 2 ks, díl 12, 2 ks, díl 14, 11 ks, díl 15, 28 ks, díl 16, 4 ks.

Seznam součástek

Rezistory (TR 213)

R_1	470 Ω
R_2	47 k Ω
R_3	1 k Ω
R_4, R_5	150 k Ω , 5 %
R_6	3,3 k Ω
R_7	2,2 k Ω
R_8	220 Ω
R_9	820 Ω
R_{10}	220 Ω
R_{11}	10 k Ω
R_{12}	330 Ω
R_{13}, R_{14}	120 Ω
R_{15}	470 k Ω
R_{16}	220 k Ω
R_{17}	1,2 k Ω

R_{19}	47 k Ω
R_{20}	2,2 k Ω
R_{21}	680 Ω
R_{22}	220 Ω
$R_{25}, 26, 27$	
$R_{30}, 31, 32$	100 k Ω , 5 %
$R_{37}, 38, 39$	2,2 k Ω , 5 %
R_{28}	22 k Ω , 5 %
R_{29}	2,2 k Ω , 5 %
R_{33}	1 k Ω
R_{34}	1 k Ω
R_{36}	2,7 k Ω
R_{40}	3,9 k Ω
R_{41}	1 k Ω
R_{42}	390 Ω (viz text)
R_{43}	2,2 k Ω , 5 %
R_{44}	5,6 k Ω , 5 %
R_{45}	1,5 k Ω
R_{46}	2,2 Ω
R_{47}	1,2 k Ω
R_{49}	15 k Ω
$R_{50}, 51$	1,2 k Ω
R_{52}	2,2 k Ω , 5 %
R_{53}	22 k Ω , 5 %
R_{23}	22 k Ω /F (viz text)
R_{24}	22 k Ω /F (viz text)

Odporové trimry a potenciometr

R_{18}	100 k Ω , lineární vrstvý potenciometr, TP 160
R_{35}	1 k Ω , cermetový trimr TP 012
R_{48}	10 k Ω , cermetový trimr, TP 012

Kondenzátory

C_1	47 nF, TC 279, viz text
C_2	viz text
C_3	6,8 nF, TGL 5155, viz text
C_4, C_7	
C_8, C_9	50 μ F, TE 981

C_5	10 μ F, TE 981
C_6, C_{13}, C_{16}	
C_{19}, C_{26}	100 nF, TK 783 (C_{16} i TC 180)
C_{10}	100 nF, TK 783
C_{11}	4,7 nF, TK 744 (TK 764)
C_{12}	5 μ F, TE 984
C_{14}, C_{27}	100 μ F, TE 981
C_{15}	50 μ F, TE 986
C_{17}, C_{20}	20 μ F, TE 981
C_{18}, C_{21}	10 nF/J, TC 279 (TGL 5155)
C_{22}, C_{23}	20 μ F, TE 981
C_{25}	100 μ F, TE 984
C_{28}	220 pF, TK 794 (TK 774)
C_{29}	1 mF (1000 μ F), TE 675
C_{30}, C_{31}	200 μ F, TE 988

Diody

D_1 až D_4	KA261
D_5	LQ1432
D_6 až D_9	čtveřice GAZ51
D_{10} až D_{15}	KY132/150
D_{16}	KZZ76
D_{17}	LQ1732

Tranzistory

T_1, T_2, T_3	BC179
T_4	KC509
T_5, T_6	
T_7, T_8	KC508 (KC507, KC509)
T_9, T_{10}	
T_{11}, T_{12}	KC509
T_{13}	KD333 (KD335, 337, KU611, 612)

Integrované obvody

IO_1 až IO_4	MH7490A
IO_5	MH7474
IO_6	UCY74121
IO_7	MAA723(H)

Transformátor

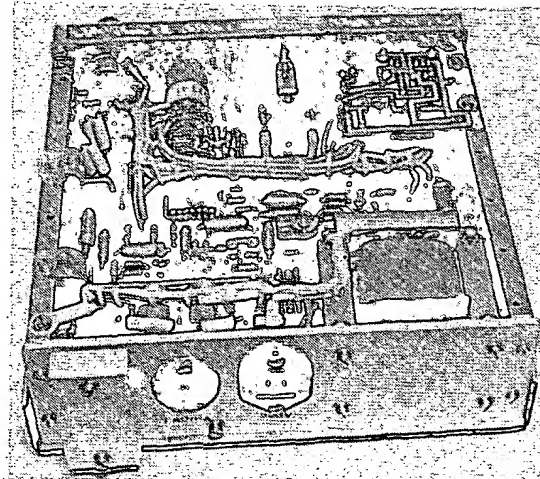
9 WN 667 27 – sek. $2 \times 9,3$ V/0,5 A; EI20x16 nebo
9 WN 667 20, 9 WN 667 50, 9 WN 667 90, 9 WN 667 49, TR16-0 (zvonkový)

Ostatní součástky

M měřidlo MP40; 100 μ A; 2,5 %; $R_1 = 1800 \Omega \pm 25\%$
 Po_1 pojistková vložka T 80 mA
 Po_2 pojistková vložka T 250 mA

Konstrukční prvky

Dvojjedlička WK 454 03, 2 ks
Přístrojový knoflík WF 243 04 (WF 243 08) – válcový, 1 ks
Přístrojový knoflík WF 243 91 – šipka, 1 ks
Přívodka síťová 2,5 A/250 V, 1 ks
Pojistkové pouzdro, 1 ks
Kontakt pojistkové vložky (pro plošné spoje), 2 ks
Přepínač otočný WK 533 41, 1 ks
Tlačítkový přepínač, Isostat N6 – viz text, 1 ks
Tlačítková souprava, Isostat N2 – síťové tlačítko – viz text, 1 ks
Hmatníky přepínačů Isostat 5 x 10 mm, 3 ks



5.2 Stabilizovaný zdroj

Přístroj je určen především pro experimentální práce v elektrotechnice. Z výstupů A, B, C umožňuje napájet obvody vyžadující až tři napájecí napětí – např. zapojení s operačním zesilovačem a číslicovými obvody TTL. Výstupní napětí z větvi A a B je možno nezávisle nastavit rozmezí 2 až 15 V a lze je zatížit až do odběru 100 mA. Výstupní napětí větve C je 5 V, povolený odběr do 500 mA. Záporné svorky větvi B, C jsou spojeny s kostrou přístroje, větev A je plovoucí a je ji možno použít k získání záporného napětí (vůči společné svorce) nebo zapojit do série s větví B.

Vestavěné měřidlo umožňuje měřit výstupní napětí a odebraný proud v každé větvi. Všechny větve jsou chráněny elektronickou pojistkou typu proudové omezení. Každá z větví je vybavena indikací překročení meze povoleného odebraného proudu.

Základní technické údaje

Výstup	A	B	C
Výstupní napětí:	2 až 15 V	2 až 15 V	5 V.
Max. povolený jmenovitý odebraný proud I_m :	100 mA	100 mA	500 mA.
Omezení výstupního proudu elektronickou pojistkou:	typ na 1,2 I_m , indikováno svítivými diodami.		
Stabilita výstupního napětí se změnou sítě $\pm 10\%$:	min $1 \cdot 10^{-3}$ při $U_A = 10$ V	min $1 \cdot 10^{-3}$ při $U_B = 10$ V	min $2 \cdot 10^{-4}$

Zvlnění a šum v pásmu 10 Hz až 10 MHz: méně než 1 mV (mezivrcholová hodnota).

Chyba měření napětí a proudu vestavěným měřidlem: podle kalibrace, typ. lepší než $\pm 4\%$ z plné výchylky ručky měřidla.

Max. napětí výstupních svorek větve A vůči kostře: 42 V.

Referenční teplota: 23 °C.

Pracovní teplota okolí: 10 až 35 °C.

Napájení: síť 220 V, 50 Hz.

Max. příkon: typ. 18 VA.

Jistiění: tavnou pojistkou.

Osazení: integrované obvody 6 ks, tranzistory 3 ks, diody 18 ks.

Rozměry, hmotnost: 175 x 65 x 190 mm; asi 1,5 kg.

Popis zapojení

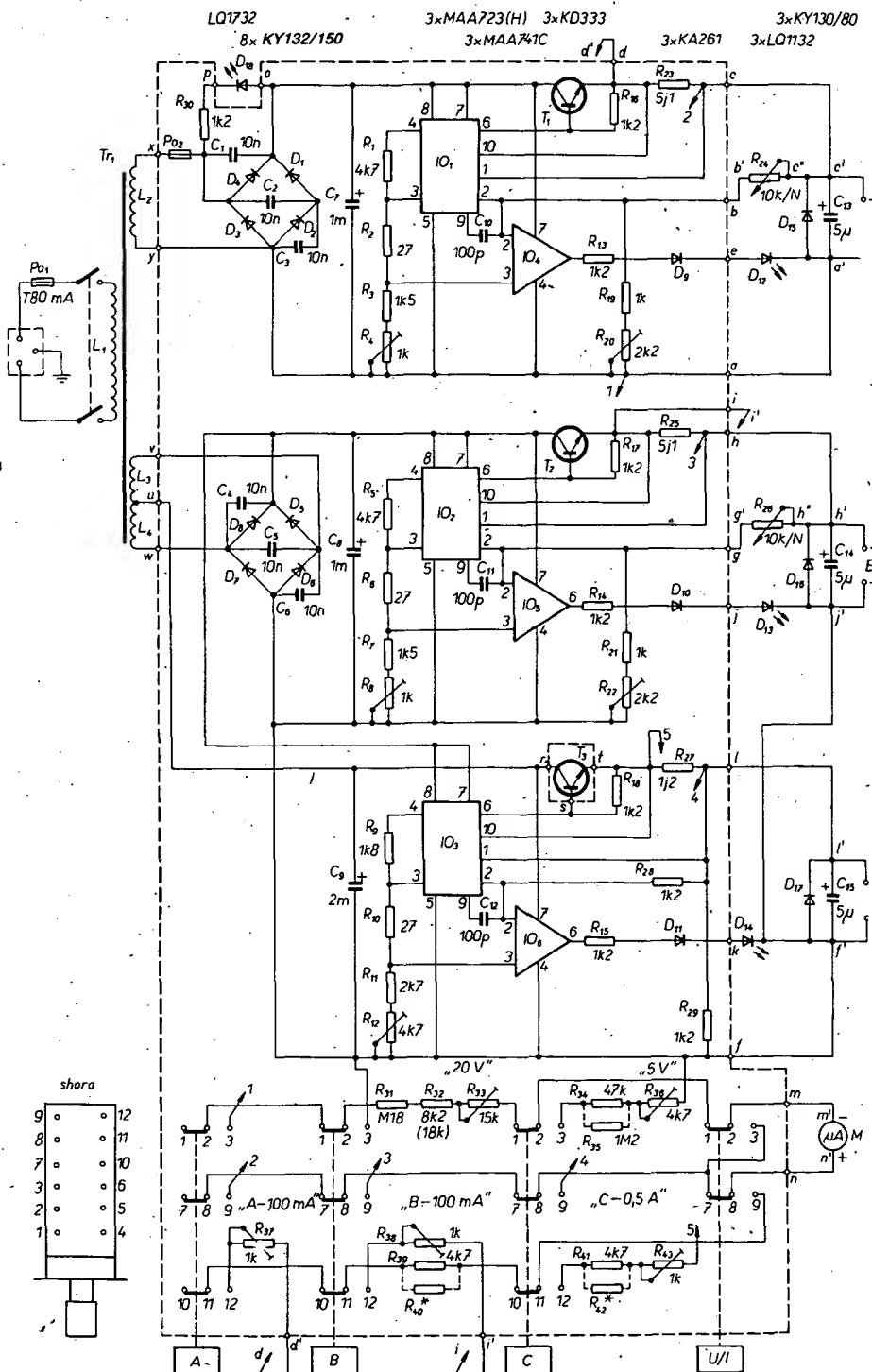
Schéma stabilizovaného zdroje je na obr. 214. Všechny tři větve zdroje jsou v zásadě zapojeny shodně. Využíváme monolitického integrovaného stabilizátoru MAA723(H) s regulačním tranzistorem KD333, doplněného komparátorem s operačním zesilovačem MAA741C. Komparátor rozsvícením svítivé diody indikuje stav, kdy se zmenšuje výstupní napětí a stabilizátor přechází do režimu proudového omezení.

Větev A je plovoucí – je napájena ze samostatného vinutí L_2 síťového transformátoru. Dojde-li k poruchovému stavu v obvodech větve A, nezvětší se vzhledem k relativně velkému vnitřnímu odporu vinutí L_2 proud primárním vinutím natolik, aby se přerušila pojistka Po_1 . Proto je obvod chráněn samostatně tavnou pojistkou Po_2 . Usměrnovač je v běžném můstkovém zapojení, kondenzátory C_1 až C_3 potlačují rušení vznikající spínacím režimem diod. Velká kapacita filtračního kondenzátoru C_7 vede k nutnosti dimenzovat usměrňovací diody na relativně velký nabíjecí proud (omezený převážně jen od-

porem vinutí L_2). To je spolu se snahou po jednoduchosti použitých prvků důvodem pro volbu diod typu KY132. Provozní stav – zapnutý zdroj – je indikován svítivou diodou D_{18} normou předepsané zelené barvy. Připojením D_{18} paralelně k jedné z usměrňovacích diod je zajištěno, že dioda zhasíná okamžitě po vypnutí síťového tlačítka. Zapojení IO_1 je běžné, podle doporučení výrobce. Trimry vymezují rozsah regulace napětí potenciometrem R_{24} . Trimr R_4 určuje dolní mez (2 V), trimr R_{20} horní mez (15 V). Protože na zdroj nemáme zvláštní nároky, vyhoví jako IO_1 i MAA723H. (Typ MAA723 má o něco lepší parametry a je považován za spolehlivější.) Výkonový regulační tranzistor T_1 je typu KD333. Mimo přijatelnou cenu má i velmi dobré parametry a malé rozměry.

Dále můžeme použít KD335, 337; KU611, 612. Rezistor R_{23} slouží jednak jako snímač pro elektronickou pojistku, jednak jako bočník při měření odebraného proudu.

Komparátor (osazený operačním zesilovačem IO_4) má za běžného provozu (odebraný proud menší než maximálně povolený) na výstupu malé napětí, tj. asi 1,6 V. Aby bylo zajištěno, že svítivá dioda D_{12} nebude za tohoto stavu svítit, je s ní v sérii zařazena dioda D_9 . Přechází-li stabilizátor do režimu proudového omezení, napětí na výstupu zdroje a tím i na vstupu 2 operačního zesilovače se zmenšuje. Zmenší-li se pod úroveň na vstupu 3 IO_4 , komparátor se překlápí, na jeho výstupu bude velké napětí a proudem z výstupu IO_4 , omezeným rezistorem R_{13} , se



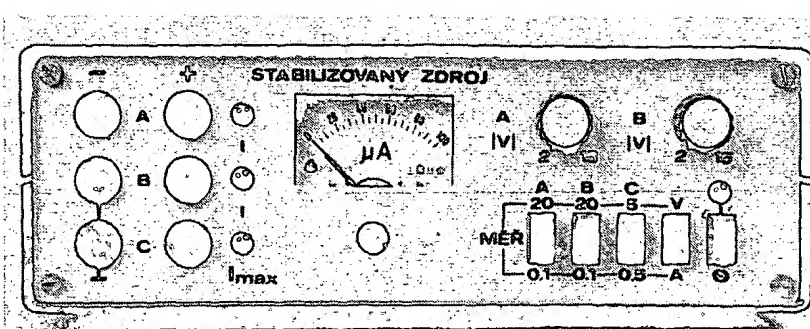
Obr. 214. Schéma stabilizovaného zdroje

rozsvěcuje D_{12} . Je červené barvy – indikuje mimoprovozní stav. Výhodou použití operačního zesilovače typu MAA741 je jednoduchost zapojení. Povolený výstupní proud IO umožňuje napájet svítivou diodu přímo, aniž by bylo třeba použít tranzistor. Dioda D_{15} tvoří ochranu proti vnucenému proudu opačné polarity. C_{13} přispívá ke stabilitě, potlačení rušení a omezení přepětových impulsů.

Obvody větve B jsou identické. Ve větvi C odpadá regulace, zbývá jen jeden nastavovací prvek – R_{12} – pro nastavení výstupního napětí.

K přepínání funkce měřidla jsou použity tlačítkové přepínače Isostat. Zapojení zaručuje, že nemůže nastat nedovolený stav (např. nežádoucí propojení větvi) ani při stisknutí libovolné kombinace tlačítek současně.

Všechny nastavovací prvky (trimry) určené pro nastavení výstupních napětí jsou spočítány toleranční analýzou tak, aby při dodržení odporů a tolerancí odpovídajících rezistorů bylo možno přístroj vždy nastavit. Deska s plošnými spoji je navržena s možností použít jak běžné trimry typu TP 040, tak dražší, ale stabilnější a méně teplotně závislé cermetové trimry typu TP 011. Trimry TP 040 mají podstatně větší teplotní závislost odporu, nastavený odpor by proto měl tvořit co nejmenší část



Obr. 215. Čelní pohled na stabilizovaný zdroj

z celkového odporu sériové kombinace rezistor + trimr. Pevné rezistory mají mít malou teplotní závislost odporu, doporučujeme proto použít typy s kovovou vrstvou, např. TR 191 (přip. MLT 0,25), z uhlíkových pak TR 213.

Konstrukční provedení

Konstrukční řešení a design stabilizovaného zdroje navazují na provedení měřiče kapacity a indukčnosti.

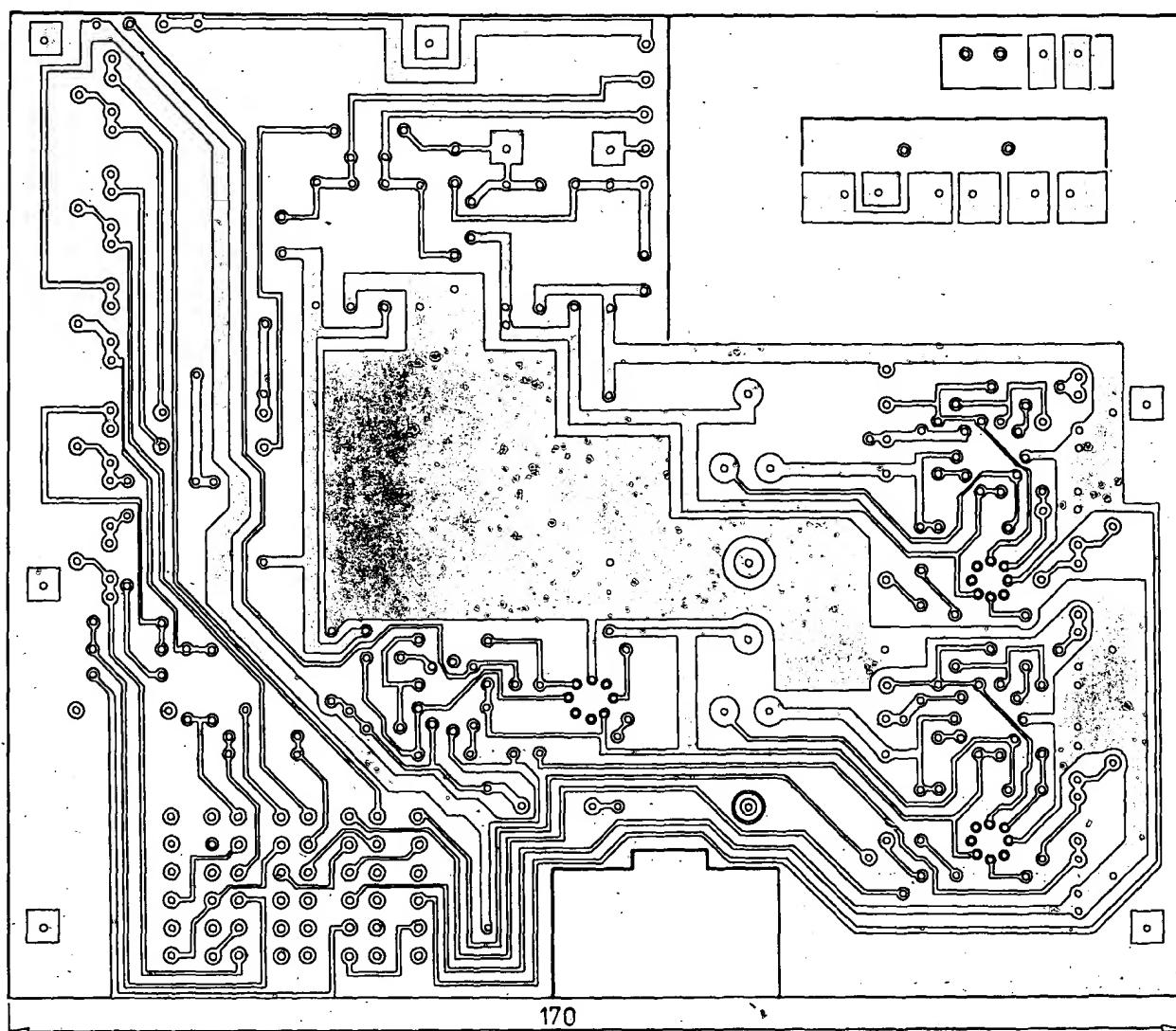
Oba přístroje mají podobně uspořádané ovládací a indikační prvky na čelním

panelu, mají řadu shodných nebo tvarově podobných dílů. Čtenář se tak může přesvědčit o praktickém přínosu jednotné koncepce konstrukčního řešení a jejím dopadu na výrobu a vzhled přístroje, jak to bylo záměrem autorů.

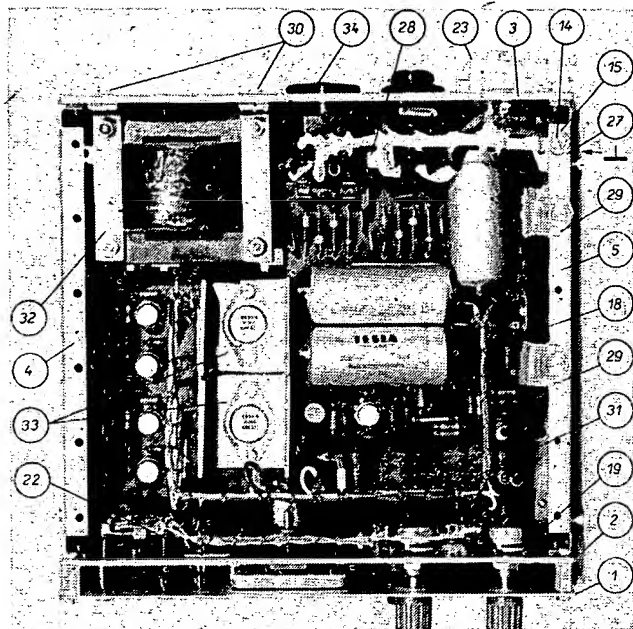
Stabilizovaný zdroj je vestavěn do stejné přístrojové skříně – typu I (viz kapitola 4).

Rozmístění a popis ovládacích a indikačních prvků je na obr. 215.

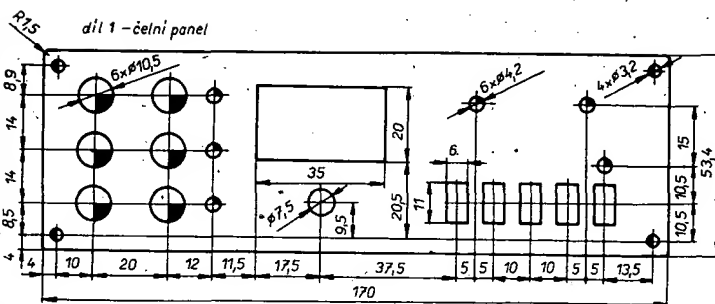
V levé části kabelu jsou výstupní zdílkky. Každému výstupu přísluší červená kontrolka indikující překročení povoleného výstupního proudu. Měřidlo je opět za-



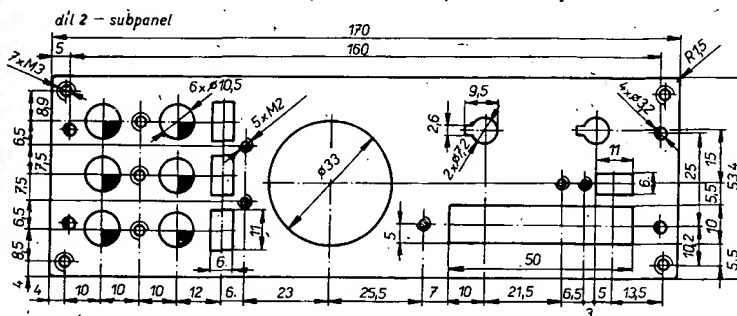
Obr. 217. Obrazec plošných spojů T204 stabilizovaného zdroje



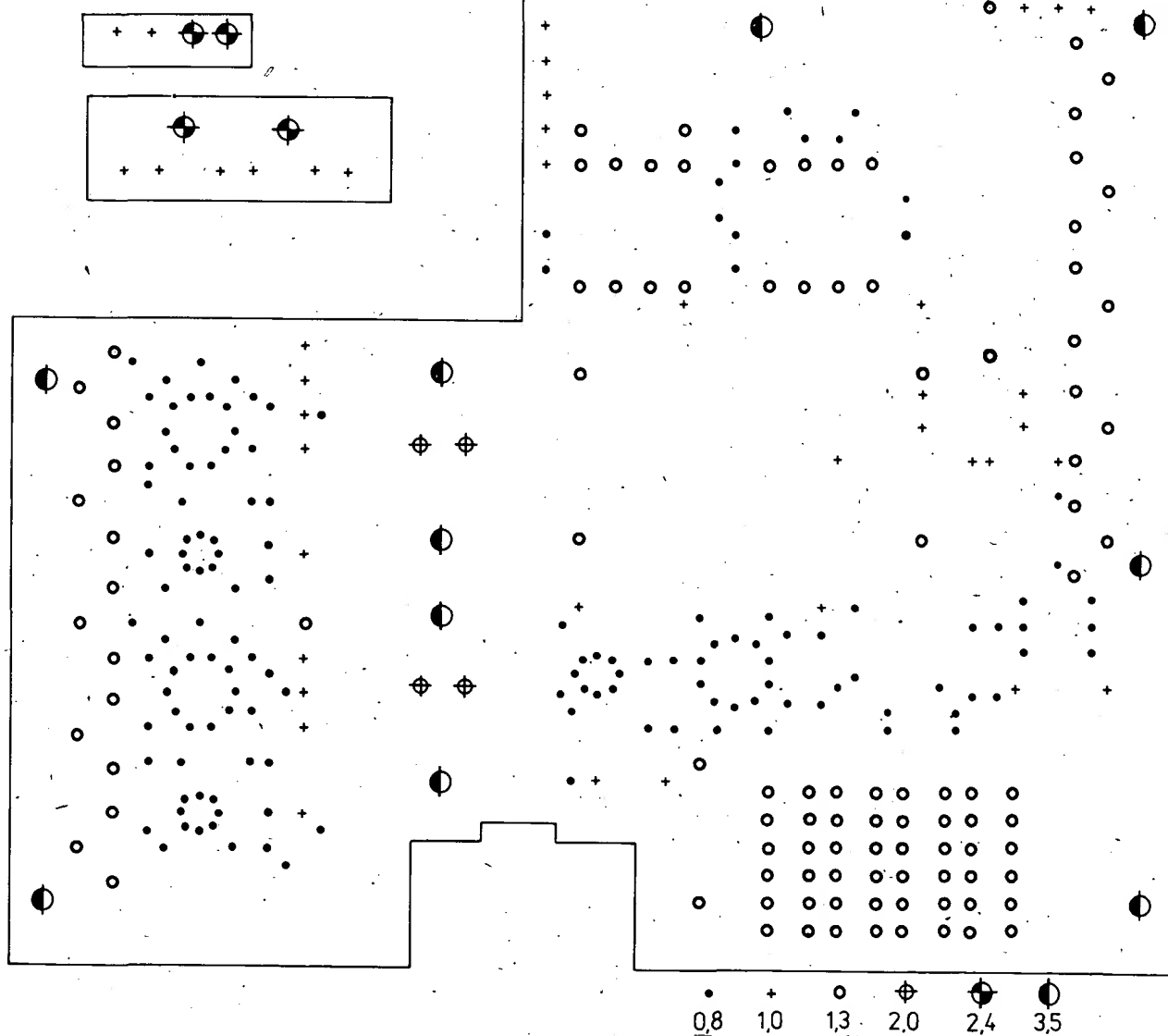
Obr. 216. Pohled na vnitřní zástavbu zdroje



Obr. 220. Výkres čelního panelu zdroje

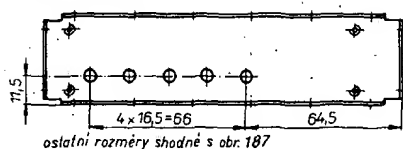


Obr. 221. Výkres subpanelu zdroje



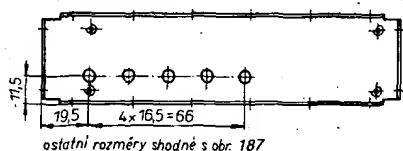
Obr. 218. Vrtací předpis desek s plošnými spoji

díl 4 – bočnice levá

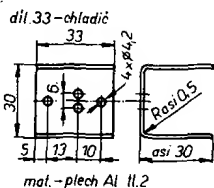


Obr. 222. Bočnice levá – úprava pro přístup k nastavovacím prvkům

díl 5 – bočnice pravá



Obr. 223. Bočnice pravá – úprava pro přístup k nastavovacím prvkům (5 děr Ø 5,5 mm)



Obr. 224. Chladič tranzistorů řady KD330

puštěno pod přední panel. V pravé části jsou potenciometry pro nastavení výstupního napětí větvi A a B. Pod nimi tlačítkové přepínače pro volbu měřicího místa (větve A, B nebo C) s označením zařazeného rozsahu měřidla, přepínač funkce měřidla (měření výstupního napětí nebo odebraného proudu) a síťový spínač v těsné blízkosti s kontrolkou, indikující provozní stav přístroje.

Zadní panel je u obou popisovaných přístrojů shodný. Vzhled proto odpovídá obr. 200, výkres zadního panelu je na obr. 206. Pozice děr označených hvězdičkou se přizpůsobují použitému transformátoru. Pro předepsaný typ (podle obr. 226) je kóta 1) upravena na 6,5 mm, kóta 2) na 46,5 mm. Zadní panel slouží současně jako chladič pro tranzistor T_3 , který je upevněn shodně jako tranzistor T_{13} u měřiče kapacity a indukčnosti.

Vnitřní uspořádání přístroje je zřejmé z obr. 216.

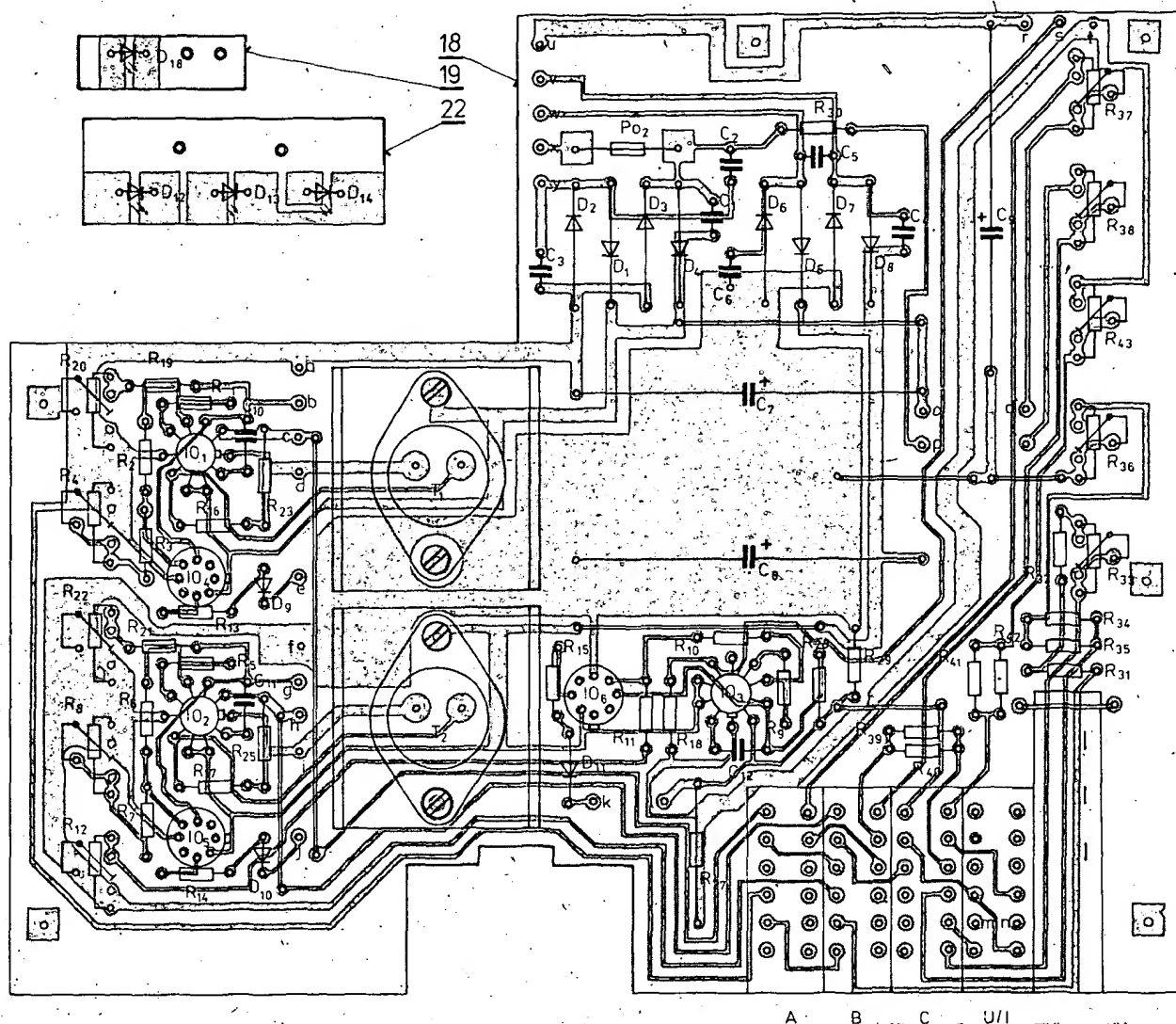
Většina obvodů stabilizovaného zdroje je na základní desce s plošnými spoji 18 (obr. 217 až 219), přišroubované k bočnicím 4, 5 a pomocí držáku 28 i k zadnímu panelu 3. Na desce jsou umístěny mimo jiné i tranzistory T_1 a T_2 s chladiči 30 a tlačítková souprava 31. Nastavovací prvky – trimry – jsou na desce rozmístěny kolem bočnic. Základní provedení bočnic odpovídá obr. 187; obr. 222 a 223 doplňují jen rozmístění děr pro přístup k nastavovacím prvkům. Na subpanelu 2 jsou tři

páry svorek – dvojdílek WK 45 403, měřidlo M, potenciometry R_{24} , R_{26} ; držák svítivých diod D_{12} , D_{13} , D_{14} (díl 22) a držák svítivé diody D_{18} (díl 19).

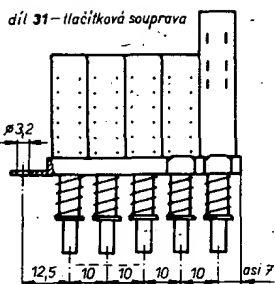
Výkres čelního panelu je na obr. 220, subpanelu na obr. 221, bočnic na obr. 222 a 223, chladiče na obr. 224.

Tlačítková souprava, obr. 225, je sestavena tak, že první tři tlačítka zleva mají čtveřici přepínacích kontaktů a jsou vzájemně vybavovací. Čtvrté tlačítko je samostatně aretované s dvojicí nebo čtveřicí přepínacích kontaktů a poslední je samostatně aretované síťové tlačítko.

Síťový transformátor si zaslouží podrobnější popis. Uvedené minimální rozměry a současně dobré parametry zdroje byly dosaženy díky optimálnímu využití transformátoru. S jádrem $EL20 \times 20$ mm je to největší typ vhodný pro zástavbu do přístrojové skříně typu I. Vhodný finální výrobek s požadovanými parametry na našem trhu bohužel schází, proto je na obr. 226 navlečen předpis. Vzhledem k tomu, že jde o součástku, která rozhodující měrou ovlivňuje splnění bezpečnostních požadavků, zásadně nedoporučujeme experimenty se zhotovením transformátoru těm, kteří dosud nemají potřebné zkušenosti. Ostatní upozorňujeme na nutnost pečlivé práce, dodržení předepsaného počtu závitů ve vrstvách a předepsané izolace, zejména mezi primárním a sekundárním obvodem. Není vhodné



Obr. 219. Osazená deska s plošnými spoji zdroje

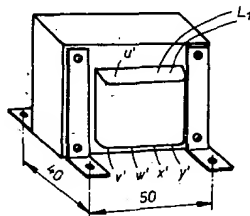
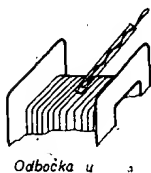


Obr. 227. Schéma propojení obvodů stabilizovaného zdroje

Obr. 225. Tlačítková souprava pro stabilizovaný zdroj

Vinutí	Počet závitů	Pr. vodiče [mm]	Počet vrstev
L ₁	2 050	0,18	18
L ₂	180	0,25	2
L ₃	90	0,355	1,5
L ₄	90	0,355	1,5

Šířka vinutí 25 mm
Jádro EI 20x20



Obr. 226. Navléací předpis a sestava síťového transformátoru

měnit předepsané průměry vodičů (pozor – uvedená data jsou průměry vlastního měděného vodiče, tj. bez izolace). Hrozí nebezpečí, že se vinutí na cívku nevejde, při použití tenčích vodičů se zase transformátor více zahřívá. Na kvalitu plechů nejsou zvláštní požadavky. Transformátor má být zkoušen měřením izolačního odporu a elektrické pevnosti, viz kap. 2.

S otázkou chlazení transformátoru souvisí provedení větracích děr krytů. Dříve probíraná doporučení k jejich zhotovení lze považovat za minimální. Obrázek plošných spojů jsou uvedeny na obr. 217. V prostoru výřezu základní desky jsou nakresleny motivy držáků svítivých diod. Vrtací předpis je na obr. 218.

Stavba přístroje

Zhotovíme mechanické díly podle rozpisů mechanických dílů. Desky s plošnými spoji, at již zakoupené nebo vlastní výroby, pečlivě zkontrolujeme a osadíme podle obr. 219. Před montáží T₁, T₂ pájecí kroužky „pocínujeme“ plochy určené k vodičům propojení šroubovým spojem. Používáme zde podložky minimálního vnějšího průměru, aby se nezkratovaly sousední spoje. Šrouby pro připevnění T₁, T₂ s chladičem 33 jsou díl 30. Zdvoujennými čarami jsou naznačeny drátové spojky vodičů o průměru 0,5 až 0,8 mm. Tlačítkovou soupravu 31 do desky pouze nasuneme, ale nepájíme.

Nejprve zkusobně sestavíme mechanické díly celého přístroje. Na zadní panel připevňujeme transformátor 32 čtyřmi šrouby M3x10 mm – díl 30 s podložkami 15. Síťová přívodka je přišroubována dvojicí šroubů M3x10 mm se zapuštěnou hlavou – díl 34. Ověříme montáž tranzistoru T₃ v sestavě podle obr. 210. Montáž diody D₁₈ odpovídá obr. 209 a stejně

upevňujeme i diody D₁₂, D₁₃, D₁₄ do destičky 22.

Vodítkem i pro montáž mechanických dílů je obr. 227. Dvojdičky jsou na subpanel připevněny ze strany čelního panelu šroubky M3x10 mm s podložkou (díl 30, 15). Měřidlo je podloženo pásky molitanu (těsnění do oken) tak, že dotahováním upevňovacích šroubů vymezujeme vzdálenost od čelního panelu (má těsně doléhat).

Smontujeme „komplet“, panely – bočnice – základní deska. Posuvem základní desky a povysouváním tlačítkové soupravy z desky dosáhneme souměrného umístění hmatníků v otvorech čelního panelu. V této poloze přišroubovujeme lištu přepínače k subpanelu (šroub M2), vystředíme a vývody přepínačů připojíme k desce. Zapájíme zpevňující můstek v zadní části síťového tlačítka. Držák 28 je k desce připevněn šroubem M3x6 mm, k zadní stěně M3x10, vždy s dvojicí podložek 15 a maticí 16. Zkrátíme hřídele potenciometrů tak, aby vyčnívaly 5 až 5,5 mm nad úroveň čelního panelu.

Po odstranění všech závad zjištěných při zkušební montáži celý přístroj demontujeme a díly povrchově upravíme. Čelní panel popíšeme podle obr. 215, zadní podle obr. 200. Pozn.: Pokud je u síťového transformátoru primární proud např. 35 mA, platí osazení předepsanou pojistkou T 80 mA. U větších proudů je vhodné předepsat pojistku T 100 mA a stejně popsat i zadní panel. Pro popis používáme Propisot 3VMN 97 02,5 černé barvy. Pak přístroj sestavíme. Čelní panel a měřidlo zatím neosazujeme. Určené díly připevníme na subpanel, který zatím nešroubovujeme k boční-

cím. Přístroj propojíme podle obr. 227. Volba vodičů a způsob propojení síťových obvodů a „ukostnění“ jsou shodné s provedením předchozího přístroje.

K propojení ostatních obvodů používáme převážně vodiče s měděným jádrem o průměru 0,5 mm s různobarevnou izolací. Na příklady k měřidlu (m-m', n-n') doporučujeme použít tenká izolovaná lanka a pro spojení společných svorek se základní deskou (f-f') tlustší izolované lanko (o průřezu jádra 0,5 až 0,75 mm²). Vodiče vyvazujeme do svazků, které jsou vedeny ve výšce 38 mm nad deskou. Respektujeme provedení svazku vedoucího k subpanelu tak, aby bylo možno subpanel odklápět po odšroubování od bočnice, odšroubováním pájecích ok měřidla a odpájení přívodů k D₁₈. Pod upevňovací šroub desky v těsné blízkosti trimru R₁₂ upevníme kabelové oko, které spojíme se zemní plochou – spojením vedoucím na běžec trimru. Tím je zajištěno propojení společných svorek s kostrou přístroje.

Poté upevníme a připojíme měřidlo, připojíme přívody k D₁₈ a přišroubovujeme čelní panel.

Nastavení

Pro lepší orientaci doporučujeme označit význam nastavovacích prvků na bočnicích popisovačem FIX, mastnou tužkou nebo ostrým hrotem. U levé bočnice jsou umístěny trimry, které slouží

k nastavení výstupního napětí jednotlivých větví. Určení trimrů je zřejmé z navržené symboliky: $R_4 - A2V$, $R_{20} - A15V$, $R_8 - B2V$, $R_{22} - B15V$, $R_{12} - C5V$. Trimry při pravé bočnici nastavujeme rozsahy vestavěného měřidla. Popíšeme je např. $R_{33} - 20V$, $R_{36} - 5V$, $R_{37} - A0$, $1A$, $R_{38} - B0$, $1A$, $R_{43} - C0$, $5A$. Pro ovládání trimrů si zhotovíme šroubovák z izolačního materiálu – vypilováním z plastové pletací jehlice apod.

Přístroj oživujeme po částech. Pomocným stejnosměrným zdrojem s výstupním napětím asi 20 V, měřením výstupního proudu a elektronickou pojistkou, kterou je možné nastavit omezení výstupního proudu v rozmezí 50 až 600 mA, zmenšujeme nebezpečí poškození obvodů při výskytu závad a usnadňujeme si nastavení.

Nejdříve zkontrolujeme správnost zapojení větve A, nastavíme obvody stabilizátoru a měřidla. Měřený zdroj je odpojen od sítě, nastavovací prvky jsou „vytočeny“ zcela vlevo, všechna tlačítka „vymáčknuta“. Pomocný zdroj 20 V s elektronickou pojistkou nastavenou na 50 mA připojíme ve správné polaritě ke kondenzátoru C_7 . Přitom není třeba jiný zásah do přístroje, diody usměrňovače jsou položeny v závěrném směru, spojení přes vinutí L_2 transformátoru se neuplatní. Odběr z pomocného zdroje je menší než 10 mA. Na svorky A připojíme voltmetr nejlépe třídy přesnosti 1 % nebo lepší. Trimrem R_4 nastavíme minimální výstupní napětí 2 V. Pozor – nastavíme-li menší výstupní napětí, může pak špatně pracovat obvod indikace přetížení. Potenciometr R_{24} otočíme na pravý doraz a trimrem R_{20} nastavíme výstupní napětí 15,5 V. Tím jsme nastavili maximální výstupní napětí. Odkazy na změnu výstupního napětí v dalším textu se týkají výhradně potenciometru R_{24} . Výstupní napětí zmenšíme na 15 V. Stisknutím tlačítka A zapojíme měřidlo do funkce měření napětí s rozsahem 20 V. Trimrem R_{33} měřidlo zkaličujeme – nastavíme výchylku ručky na 75. dílek, což odpovídá napětí 15 V. Nestačí-li rozsah trimru, nebo je-li jeho běžec těsně u kraje odporové dráhy, upravíme R_{32} .

Omezovací proud pomocného zdroje nyní nastavíme na asi 200 mA. Přepneme přepínač měřidla do funkce měření proudu. Na výstupní svorky připojíme v sérii miliampérmetr a zatěžovací rezistor. Na miliampérmetr máme stejné požadavky jako na voltmetr – třída přesnosti 1 % a lepší. Zátěž tvoří reostat, drátový potenciometr nebo rezistor s odbočkou. Požadovaný max. odpor je asi 150 Ω , dovolené zatížení 2 W a větší.

Přesvědčíme se nejdříve o správném odporu rezistoru R_{23} . Příliš velký odpor způsobí, že již při výstupních proudech do 100 mA začíná předčasně pracovat elektronická pojistka a výstupní napětí se zmenšuje. Příliš malý odpor má za následek, že pojistka začíná omezovat až větší výstupní proud, čímž se tepelně více namáhá transformátor a regulační tranzistor zejména při zkratu na výstupu. Ověříme proto správnou činnost elektronické pojistky a velikost zkratového proudu tak, že plynule zmenšujeme odpor zátěže. Výstupní proud se zvětšuje a postupně se ustaluje na proudu, který má být asi o 20 % větší než jmenovitý povolený výstupní proud 100 mA. To odpovídá proudu 120 mA. Současně se zmenšením výstupního napětí se rozsvítí dioda D_{12} .

Přepneme měřidlo do funkce měření napětí. Nastavíme maximální výstupní napětí a větev zatížíme jmenovitým max. proudem 100 mA. Připojování a odpojování zátěže nemá způsobit změnu výchylky ručky. V případě potřeby R_{23} změníme nebo doplníme paralelním rezistorem. Při jmenovitém max. proudu 100 mA zkaličujeme měřidlo ve funkci měření proudu – nastavíme plnou výchylku trimrem R_{37} . Vhodnou volbou rezistoru R_{40} přitom dosáhneme toho, že běžec R_{37} bude přibližně uprostřed odporové dráhy. Odpor rezistoru R_{40} je v rozmezí jednotek až desítek k Ω .

Přejdeme k nastavení větve B a C.

Pomocný zdroj s napětím 20 V a s omezením výstupního proudu 50 mA připojíme paralelně ke kondenzátoru C_9 . Tím jsou napájeny obě větve, opět bez potřeby zásahu do přístroje. Odběr z pomocného zdroje musí být menší než 20 mA.

Pro větev B zopakujeme celý postup nastavení jako pro větev A, s výjimkou kalibrace měřidla na rozsahu 20 V, jehož obvod je využíván pro měření v obou větvích. Přitom vycházíme z analogie nastavovacích prvků větvi A a B. Nelze-li ve větvi B nastavit trimrem R_{38} rozsah měřidla 100 mA, musíme R_{40} volit kompromisně, aby bylo možno nastavit proudové rozsahy v obou větvích A, B.

Při nastavování větve C platí shodné principy. Pojistku pomocného proudového zdroje nastavujeme na 600 mA. Zkratový proud stabilizátoru ve větvi C má být co nejmenší při současném splnění požadavku minimální změny výstupního napětí při připojování a odpojování zátěže. Typický zkratový proud je asi 570 mA. Odpor rezistoru R_{27} upravujeme na optimální paralelním rezistorem, umístěným ze strany spojů (stačí miniaturní provedení).

K nastavení výstupního napětí 5 V je určen trimr R_{12} . Rezistor R_{36} upravuje rozsah měřidla na 5 V při měření napětí, podle potřeby zařadíme nebo vyřadíme R_{35} . K nastavení proudového rozsahu slouží trimr R_{43} popř. rezistor R_{42} (jeho odpor je řádu jednotek až desítek k Ω).

Závěrečnou operací je fixace nastavovacích prvků a šroubových spojů acetonovým lakem a povrchová úprava plošných spojů.

Použití

Stabilizovaný zdroj popsaných vlastností patří mezi nejpoužívanější přístroje v dílenské praxi. K jeho přednostem patří zejména minimální rozměry a optimalizované parametry. Slouží zejména pro napájení pokusných zapojení, při oživování a nastavování obvodů. Kombinací výstupů A a B podle obr. 228 můžeme získat napětí, která umožní napájet prakticky všechna běžná zapojení s tranzistory, operačními zesilovači a dalšími integrovanými obvody.

Povolený výstupní proud 100 mA postačí pro většinu aplikací. Větší proudy a napětí se převážně vyskytují u zapojení, která mají vlastní zdroj. Pro napájení číslíkových obvodů je určen výstup C s povoleným výstupním proudem 0,5 A.

Z důvodů ekonomického provozu nemá transformátor velkou rezervu se-

kundárního napětí. Proto při napájení síťovým napětím kolem 200 V a zvláště při současném maximálním zatížení všech větví nelze z výstupů A a B odebrat plné napětí 15 V. Taková situace ovšem nastává zřídka a je bezpečně identifikována rozsvícením příslušných diod „ I_{max} “.

Výhodou amatérské konstrukce je, že můžeme připustit výskyt nežádoucího jevu, který by se v profesionální praxi vyskytnout neměl. V tomto případě je jím zablikání všech diod „ I_{max} “ po vypnutí přístroje.

Obsluha přístroje nepotřebuje zvláštní komentář. Jen v případě využívání zdroje při maximálním zatížení všech větví a vyšší teplotě okolí je vhodné umisťovat přístroj v otevřeném prostoru, neukládat na něj další přístroje, aby bylo zajištěno dostatečné chlazení.

Zdroj nevyžaduje zvláštní údržbu. Doporučujeme v přibližně ročních intervalech zkontrolovat údaje napětí vestavěného měřidla.

Rozpiska mechanických dílů

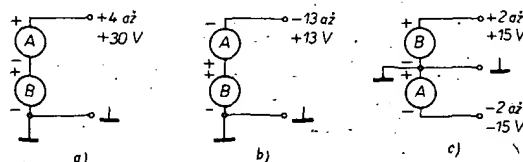
Rozpiska uvádí jen nové díly, neuvedené v tabulce v kap. 4 a díly, které jsou upraveny

Díl	Název	Počet ks	Obrázek č.
1	čelní panel	1	220
2	subpanel	1	221
3	zadní panel	1	206
4	bočnice levá	1	222
5	bočnice pravá	1	223
18	deska s plošnými spoji (základní)	1	219
19	deska s plošnými spoji (držák D_{18})	1	219
20	šroub M2×6, válcová hlava	5	-
21	podložka ocelová $\varnothing 5/2,2$	5	-
22	deska s plošnými spoji (držák D_{12} , D_{13} , D_{14})	1	219
23	kryt tranzistoru	1	207
24	podložka síťová (pod pouzdro tranzistoru řady KD330)	1	-
25	trubička izolační	2	210
26	podložka perlinaxová $\varnothing 7/3,2$	2	-
27	oko pájecí jednostranné $\varnothing 3,2$	3	-
28	držák	1	211
29	páska	2	213
30	šroub M3×10, válcová hlava	14	-
31	tlačítková souprava	1	225
32	transformátor	1	226
33	chladič	2	224
34	šroub M3×20, zapuštěná hlava	2	-

K počtu dílů, uvedených v tabulce v kap. 4 přibývá: díl 8 + 2 ks, díl 14 + 9 ks, díl 16 + 8 ks, díl 12 + 2 ks, díl 15 + 32 ks.

Seznam součástek

Rezistory (metalizované typu TR 191, popř. TR 151, MLT 0,25, nebo uhlíkové typu TR 213) R_1 , R_5 4,7 k Ω , 5 %



Obr. 228. Možné kombinace výstupů A a B

R ₃ , R ₇	1,5 kΩ, 5 %
R ₉	1,8 kΩ, 5 %
R ₁₁	2,7 kΩ, 5 %
R ₁₉ , R ₂₁	1 kΩ, 5 %
R ₂₃ , R ₂₅	5,1 Ω, 5 %
R ₃₁	180 kΩ, 5 %
R ₃₄	47 kΩ
R ₄₀	viz text
R ₄₁ , R ₃₉	4,7 kΩ
R ₄₂	viz text

Rezistory (typ TR 213)

R ₂ , 6, 10	27 Ω, 5 %
R ₁₃ , 14, 15, 16, 17	
R ₁₈ , 28, 29, 30	1,2 kΩ
R ₃₂	8,2 kΩ, 18 kΩ
R ₃₅	1,2 MΩ, viz text

Rezistor (typ TR 215)

R ₂₇	1,2 Ω, 5 %
-----------------	------------

Odporové trimry a potenciometry

R ₄ , 8, 37, 38, 43	1 kΩ, trimr TP 040
R ₁₂ , 36	4,7 kΩ, trimr TP 040
R ₂₀ , 22	2,2 kΩ, trimr TP 040
R ₂₄ , 26	10 kΩ/N,
	potenciometr TP 160
R ₃₃	15 kΩ, trimr TP 040

Kondenzátory

C ₁ až C ₆	10 nF, TK 745
C ₇ , C ₈	1000 μF, TE 676, PVC
C ₉	2500 μF, TE 674, PVC
C ₁₀ , 11, 12	100 pF, TK 754, 774, 794
C ₁₃ , 14, 15	5 μF, TE 986

Diody

D ₁ až D ₃	KY132/150
D ₉ až D ₁₁	KA261, 206, 501
D ₁₂ až D ₁₄	LQ1132
D ₁₅ až D ₁₇	KY132/80
D ₁₈	LQ1732

Tranzistory a IO

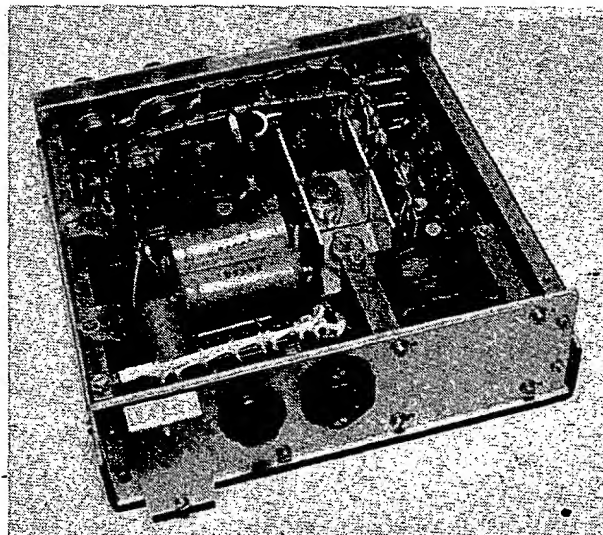
T ₁ až T ₃	KD333 (KD335, 337; KU611, 612)
IO ₁ až IO ₃	MAA723(H)
IO ₄ až IO ₆	MAA741C

Ostatní součástky

Po ₁	pojistková vložka T 80 mA
Po ₂	pojistková vložka T 250 mA
M	měřidlo MP40; 100 μA;
	2,5 %; R _i = 1800 Ω ± 25 %

Konstrukční prvky

Dvozdířka	WK 45103, 3 ks
Přístrojový knoflík	WF 24304 (WF 24308), 2 ks
Přívodka síťová	2,5 A/250 V, 1 ks
Pojistkové pouzdro	1 ks
Hmatníky	
přepínačů	Isostat 5 × 10 mm, 5 ks



5.3 Číslicový panelový voltmetr

V elektronických měřicích přístrojích se často opakují určité funkční bloky – napájecí zdroje, zdroje signálu, indikační obvody aj. Univerzálním blokem je i popisované panelové číslicové měřidlo. V časopise Amatérské rádio bylo již uveřejněno několik konstrukcí, které se však vyznačovaly relativně složitým zapojením, použitím dvoustranné desky s plošnými spoji a potřebou několika napájecích napětí. Rozvojem součástkové základny a mezinárodní kooperace přichází na náš trh integrovaný obvod C520D z NDR, který stavbu číslicového panelového měřidla podstatně zjednodušuje.

Základní technické údaje

Rozsah měřeného napětí:

– 99 až +999 mV.

Zobrazení: 3 místa.

Chyba linearity: max. 0,1 % ± 1 číslice.

Vstupní odpor: asi 1 MΩ.

Počet měření za sekundu: typ. 3,5.

Indikace záporné polaritě: []

Indikace přetížení v záporné polaritě: []

Indikace přetížení v záporné polaritě: []

Napájecí napětí: 5 V ± 5 %.

Odběr ze zdroje (maximální): typ. 180 mA.

Rozměr – základní deska: 60 × 85 mm,

– deska displeje: 60 × 35 mm.

Osazení: tranzistory 3 ks, integrované obvody 2 ks, sedmisegmentový displej 3 ks.

Popis zapojení

Schéma číslicového panelového měřidla je na obr. 229. Základním prvkem zapojení je integrovaný obvod C520D (IO₁), který je ekvivalentem nyní již nevyráběného obvodu AD2020 firmy Analog Devices. Je vyroben technologií I²L a obsahuje přes 1200 funkčních prvků. Pracuje

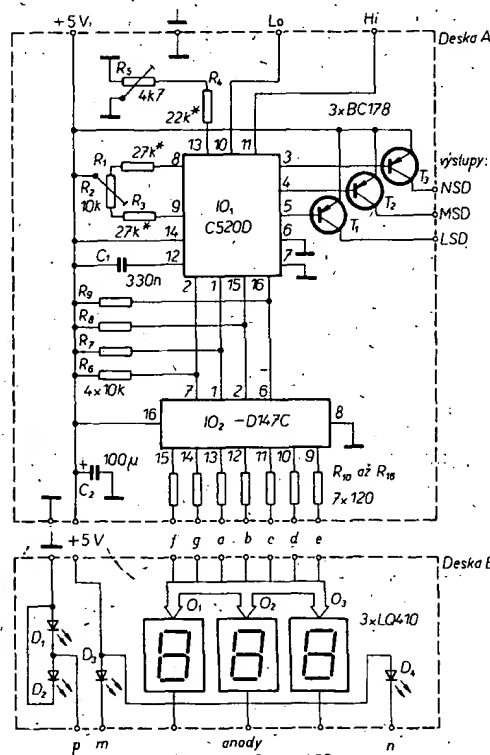
je metodou dvojí integrace. Byl navržen pro záměnu ručkových měřidel za číslicové. Tomu odpovídá i indikace v kladné polaritě do plného údaje displeje (999 mV), v záporné polaritě jen do 99 mV, přičemž na místě číslice nejvyššího řádu je znak, indikující zápornou polaritu.

Předností obvodu C520D je pouze jediné napájecí napětí 5 V ± 0,5 V a malé pouzdro DIL s 16 vývody. Vstupní odpor je typicky 1 MΩ, což vyhoví pro většinu aplikací. Vnější integrační kondenzátor C₁ se výrazně podílí na dosažených parametrech, volíme typ s malou teplotní závislostí, stabilní, s malými ztrátami. Jeho kapacita může být v rozmezí 330 nF + 20 %. Trimr R₂ je určen pro nastavení offsetu (nuly), R₅ pro nastavení koncového bodu stupnice (plné výchylky). Obvod D147C (IO₂) je dekodér a budič sedmisegmentového displeje. Displeje pracují v multiplexním režimu, jejich společné anody jsou spínány tranzistory T₁, T₂, T₃. Můžeme použít libovolné n nebo spínací křemíkové tranzistory p-n-p, jediným požadavkem je, aby měly malé pouzdro – např. KSY82, BC157 až 9, BC177 až 9. Displej lze kromě LQ410 osadit i výrobky jiných firem, pokud se shodují pozice vývodů (např. HP 5082 – 7730). Protože v řadě aplikací potřebujeme doplnit desetinnou tečku právě na té straně, kde ji podle zákona schválnosti – též Murphyho zákona – použité displeje nemají, zastupuje ji svítivá dioda D₃ nebo D₁. Pozice D₁ a D₂ je určena pro použití v případech, kdy potřebujeme indikovat polaritu.

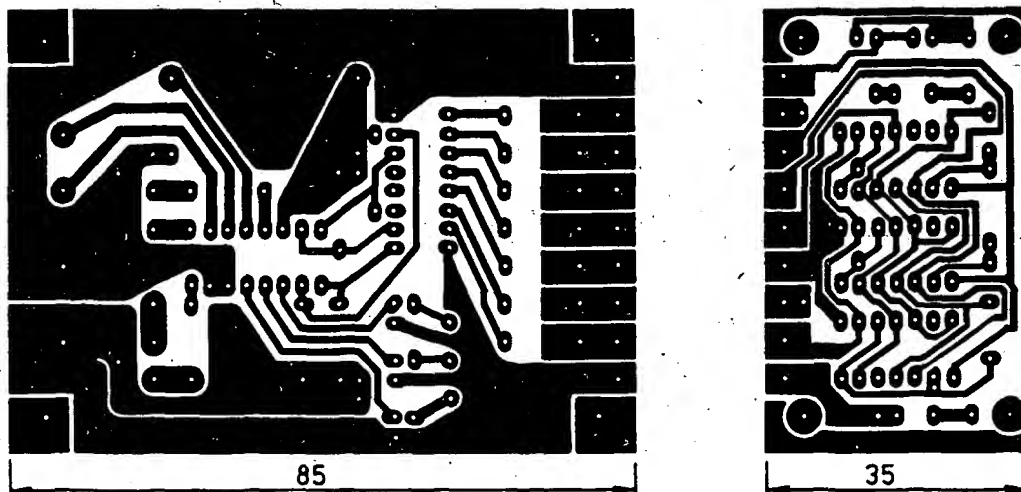
Pozn.: Vstupy Hi, Lo – nejsou skutečnými diferenciálními vstupy, Lo musí být vždy spojen se společnou svorkou zapojení.

Konstrukční řešení

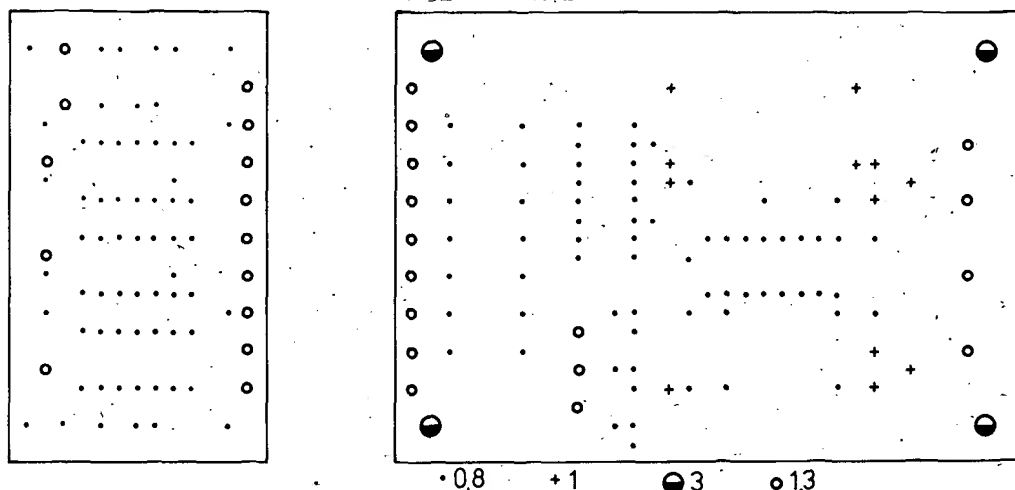
Číslicový panelový voltmetr je řešen jako vestavný blok, který se skládá ze základní desky s plošnými spoji A a desky displeje B. Z úsporných důvodů jsou při



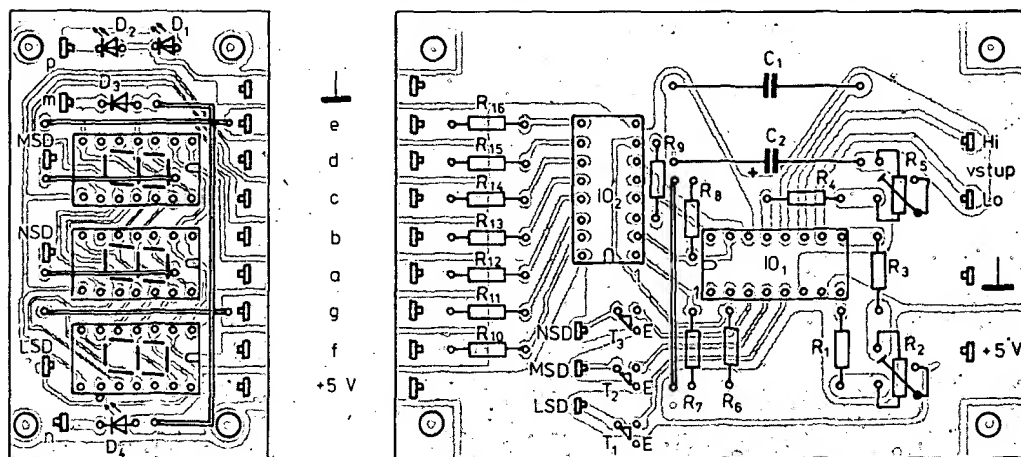
Obr. 229. Schéma číslicového panelového měřidla



Obr. 230. Obrazec desek s plošnými spoji T205 panelového měřidla



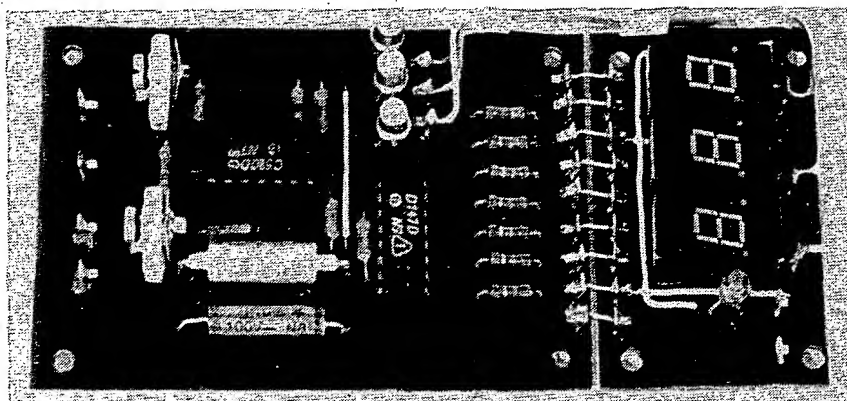
Obr. 231. Vrtací předpis desek s plošnými spoji panelového měřidla



Obr. 232. Osazovací plán desek s plošnými spoji panelového měřidla

výrobě obě desky spojeny a je použit pouze jednostranně plátovaný materiál. Základní deska A má u jedné strany umístěn přívod napájení a vstupy, u protilehlé strany jsou výstupy pro připojení desky B. Odpovídající vývody desky B jsou k nim umístěny zrcadlově.

Obě desky mají v rozích montážní díry. Obrazec plošných spojů je uveden na obr. 230, vrtací předpis na obr. 231 a osazovací plán na obr. 232. Vzhled desek ve zkušebním zapojení je zřejmý z obr. 233. Vodiče mohou být připojeny přímo do děr v deskách A, B. V takovém případě doporučujeme používat přednostně místo kruho-



Obr. 233. Číslicové panelové měřidlo – skutečné provedení

vých děr zářezy do desek. Jinak můžeme improvizovat pájecí body z vadných kontaktů konektorů FRB, hrotů vysávaných náplní propisovacích tužek apod. Obvod C520D je umístěn do objímky 2×8 vývodů, s odříznutými čely s uchycovacími děrami. Po zkušenostech s používáním displejů typu LQ410 doporučujeme i jejich montáž do objímek. K tomu upravíme 3 ks objímek 2×7 vývodů odříznutím vodičích stěn lupénkovou pilkou.

Zhotovení, nastavení

Zhotovujeme-li sami desky s plošnými spoji, vyrábíme desky A i B současně a oddělíme je až po vyvrtání děr. Desky pečlivě zkontrolujeme a osazujeme podle obr. 232. Nejdříve zapojíme naznačené drátové spojky pod displej neizolovaným vodičem o průměru 0,5 mm, ostatní spojky zhotovíme z izolovaného vodiče stejného průměru. Osadíme upravené objímky pro IO_1 , O_1 až O_3 , potom zapájíme i ostatní prvky. Rezistory označené ve schématu hvězdičkou pájeme s nezkrácenými přívody – jejich odpor se může při nastavování měnit. Svítivé diody D_1 až D_4 osazujeme jen podle potřeby.

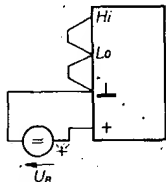
Desky A a B vzájemně propojíme. Podle obr. 234 spojíme svorky Hi, Lo a společnou svorku \perp , napájecí přívody připojíme ke zdroji U_B (5 V – 0,25 V). Trimrem R_2 nastavíme stav 000 na displeji. Nestačí-li k tomu rozsah trimru, měníme odpor rezistorů R_1 a R_3 . Zachovááme při tom součet odporů R_1 , R_2 a R_3 větší než 50 k Ω , jinak se zvětšuje vstupní proud panelového měřidla.

Zapojení pro kalibraci měřidla je na obr. 235. Na vstup je připojen kalibrační voltmetr V a zdroj kalibračního napětí U_K asi 900 mV. K základní kalibraci slouží trimr R_5 . Nestačí-li jeho rozsah, měníme odpor rezistoru R_4 .

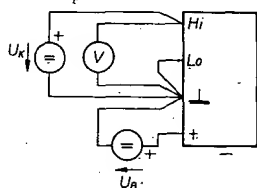
Pozn.: Vzhledem k výrobním tolerancím IO_1 a toleranci kapacity kondenzátoru C_1 se odpor rezistorů R_1 , R_3 , R_4 může měnit ve značném rozmezí.

Definitivně nastavujeme měřidlo až po jeho zástavbě v ustáleném pracovním režimu. Ke kalibraci doporučujeme použít číselný voltmetr minimálně třídy přesnosti 0,01 % (4 až 4,5 místný). Na vstup přivedeme napětí 0,5 mV; trimr R_2 nastavíme tak, aby displej právě přebíklával mezi údaji 000 a 001. Při nastavení „koncového“ napětí přivádíme napětí 899,5 mV; po nastavení R_5 musí údaj přecházet mezi 899 a 900.

Velikost vstupního proudu ověříme v zapojení podle obr. 236. Obvod měří úbytek napětí na rezistoru R_N způsobený proudem vstupního proudu. Je-li odpor



Obr. 234. Zapojení pro nastavení nuly panelového měřidla



Obr. 235. Zapojení pro kalibraci panelového měřidla

rezistoru 1 M Ω , odpovídá číselný údaj na displeji vstupnímu proudu v nA.

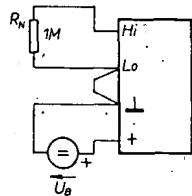
Poznámky k použití

Číselkové panelové měřidlo je široce použitelný funkční blok, jeho zhotovení a nastavení je snadné. Při použití měřidla věnujeme pozornost následujícím zásadám:

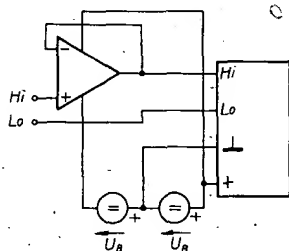
- bereme ohled na vstupní proud měřidla, který je asi 100 nA. To značí, že výstupní odpor předcházejícího obvodu by neměl být větší než 10 k Ω . Požadujeme-li větší vstupní odpor zapojení, můžeme předřadit panelovému měřidlu neinvertující zesilovač s jednotkovým zesílením podle obr. 237. Pro operační zesilovač však musíme mít zdroj i záporné polarity.
- Dbáme na správné připojení vstupu Lo, který má být malou impedancí spojen se společnou svorkou \perp . Příkladem je zapojení na obr. 238. Pro obvod C520D je přípustný maximální úbytek na vodičích mezi Lo a společnou svorkou ± 200 mV.
- Vyvarujeme se přetížení vstupu měřidla, které by mohlo vést k poškození IO_1 . Panelové měřidlo je určeno pro zástavbu a proto nemá na vstupu žádné ochranné obvody.

Seznam součástek

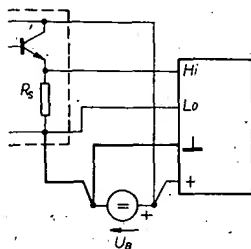
Rezistory (typ TR 213, tolerance 10 %)
 R_1 , R_3 27 k Ω , viz text
 R_4 22 k Ω , viz text
 R_5 až R_9 10 k Ω
 R_{10} až R_{16} 120 Ω



Obr. 236. Zapojení pro měření vstupního proudu panelového měřidla



Obr. 237. Zapojení ke zvětšení vstupního odporu panelového měřidla



Obr. 238. Příklad zapojení panelového měřidla v obvodu

Odporové trimry (typ TP 011)

R_2 10 k Ω
 R_5 4,7 k Ω

Kondenzátory

C_1 330 nF, TC 279, TC 215, viz text
 C_2 100 μ F, TE 981

Polovodičové součástky

T_1 , T_2 , T_3 BC178, KSY82, viz text
 IO_1 C520D
 IO_2 D147C
 O_1 , O_2 , O_3 LQ410

Dodatek

Měřicí přístroje pro školní výuku a zájmově technickou činnost z k. p. TESLA Brno

K. p. TESLA Brno novými výrobky navazuje na tradici servisních a školních přístrojů řady M a řady BM 300. Inzertní rubriky „Koupím“ nás dodnes přesvědčují o oblíbenosti vysokofrekvenčního generátoru BM 368, měřiče LC BM 366, nízkofrekvenčního generátoru BM 365, osciloskopu BM 370 i dalších.

Výrobce reaguje na současný stav trhu a současně novými měřicími přístroji zabezpečuje dodávky do tržních fondů podle vládního usnesení 151/82. V letech 83/84 přišlo postupně do výroby prvních pět typů z řady tzv. školních měřicích přístrojů:

BK 121, logická sonda,
BK 124, generátor RC,
BK 125, stabilizovaný zdroj 5 V; ± 15 V,
BK 126, stabilizovaný zdroj 5 V; ± 12 V,
BK 127, stabilizovaný zdroj 0 až 20 V.

Přístroje jsou z hlediska parametrů a bezpečnostních předpisů optimalizovány pro použití ve školách, institucích zabývajících se branně technickou výchovou mládeže, i pro zájemce z řad jednotlivců. Distribucí se v ČSSR zabývá síť prodejen TESLA ELTOS.

Pro zajímavost několik údajů o maloobchodních cenových relacích mezi novými typy a podobnými, dosud dostupnými přístroji (bez záruky):

Logická sonda BM 544	1850,-*)
Školní logická sonda BK 121	590,-
Generátor RC BM 354	7520,-*)
Školní generátor RC BK 124	1440,-
Stabilizovaný zdroj BM 554	5700,-*)
Školní stabilizovaný zdroj BK 127	1570,-

*) Maloobchodní ceny nejsou stanoveny, nevýrobním socialistickým organizacím (školským, zájmovým, ...) jsou připočteny daňové přírůstky přesahující v souhrnu 100 % velkoobchodní ceny (VC). Uvedené orientační položky byly vzaty jako dvojnásobek VC přístrojů.

Není záměrem autorů vzbudit dojem, že ceny všech nových výrobků jsou právě vyvážené a zejména z hlediska mladších zájemců vždy přijatelné. Svou roli zde ovšem hraje složitá kalkulace nových druhů výrobků a také malá informovanost veřejnosti o tvorbě cen.

Častým jevem bývá, že čtenář sečte maloobchodní ceny použitých součástek podle schématu a zjištěnou částku bere jako kritérium pro posuzování ceny přístroje. Musíme si uvědomit, že celkové materiálové náklady (tedy nejen cena elektrických součástek) tvoří u elektro-technických měřicích přístrojů běžně pouze třetinu a méně z celkových nákladů. Nej-

Obvod T_4 , R_{12} , D_7 chrání sondu před přepólováním napájecího napětí. Tranzistor T_4 bude otevřen pouze při připojení napětí správné polaritě. Je saturován a proto úbytek napětí na něm je malý – řádu desítek mV.

Změřené parametry

Závislost vstupního proudu na vstupním napětí

U_{vst} [V]	I_{vst} [μA]		U_{vst} [V]	I_{vst} [μA]	
	vzorek 1	vzorek 2		vzorek 1	vzorek 2
0,1	-304	-310	1,6	-27	-25
0,2	-286	-290	1,7	0	0
0,3	-260	-270	1,8	10	12
0,4	-250	-252	2,0	48	48
			2,2	84	84
0,5	-230	-235	2,4	123	125
0,6	-212	-215	2,6	160	162
0,7	-192	-195	2,8	199	200
0,8	-175	-178	3,0	230	215
0,9	-156	-158	3,5	318	320
1	-138	-140	4	380	386
1,2	-105	-102	4,5	435	435
1,4	-67	-64	5	485	490

Přes poměrnou jednoduchost zapojení se přístroj vyznačuje velmi dobrými statickými i dynamickými vlastnostmi a jejich stálostí ve specifikovaném rozsahu napájecích napětí a okolní teploty. Logická sonda má srovnatelné parametry s podobnými výrobky ze zahraničí i tuzemské produkce. Jen v ojedinělých případech (při měření na vstupních obvodech s velkou impedancí) je třeba uvážit vliv vstupního proudu sondy ve stavu H ($I_{vst} \approx 80 \mu A$ pro $U_{vst} = +2 V$).

Nastavovací prvky

Nastavuje se pouze velikost komparačního úrovně U_H volbou odporu rezistoru R_{13} . Komparační úroveň U_L nelze (není nutné) nastavovat. Je zajištěna velikostí úbytků napětí na D_1 až D_3 , na přechodu B-E T_1 a vlastnostmi převodní charakteristiky invertoru IO_{1-1} . Pro dosažení specifikované velikosti U_L (potřebných úbytků) je dioda D_1 germaniová, ostatní křemíkové.

Změna komparačních úrovní v závislosti na napájecím napětí a teplotě okolí

U_{cc} [V]	Komparační úroveň U_L [V]						Komparační úroveň U_H [V]					
	vzorek 1			vzorek 2			vzorek 1			vzorek 2		
	7 °C	23 °C	38 °C	7 °C	23 °C	38 °C	7 °C	23 °C	38 °C	7 °C	23 °C	38 °C
4,75	0,55	0,56	0,58	0,61	0,63	0,67	2,39	2,32	2,30	2,25	2,25	2,11
5,00	0,53	0,54	0,55	0,60	0,63	0,64	2,35	2,25	2,26	2,18	2,20	2,05
5,25	0,51	0,52	0,53	0,60	0,62	0,62	2,30	2,16	2,24	2,12	2,17	2,01

Školní generátor BK 124

slouží jako zdroj harmonického signálu v kmitočtovém rozsahu 10 Hz až 1 MHz. Vstupní napětí lze nastavit v rozsahu min. 1 mV až 1 V. Výstupní impedance je 600 Ω. Generovaný signál má malé nelineární zkreslení (menší než 0,2 %), přístroj můžeme použít i pro práci na jakostních nářadích. Konstrukční řešení, snadná obsluha a optimalizované parametry jej předurčují pro zájmové technickou činnost, laboratoře a dílny škol a školských zařízení.

Vnější provedení je na obr. 4.

Obr. 4. Školní generátor RC BK 124 (na 4. straně obálky)

Základní technické údaje

Kmitočtový rozsah: 10 Hz až 1 MHz v pěti dekadických rozsazích.
Chyba nastavení kmitočtu v rozsazích 10 Hz až 100 kHz:
a) lepší než 15 %,
b) lepší než 4 Hz.
Součinitel nelineárního zkreslení v pásmu 100 Hz až 100 kHz: menší než 0,2 %.
Největší výstupní napětí (efektivní hodnota): min. 1 V/600 Ω.
Výstupy: x1; x0,1; x0,01.
Vnitřní odpor: asi 600 Ω.
Chyba zeslabovače: menší než 2 dB.
Regulace výstupního napětí plynule: 0 až -20 dB.
Doba náběhu: 10 minut.
Pracovní teplota okolí: +5 až +40 °C.
Napájecí napětí: 220 V ± 10 %.
Příkon: max. 10 VA.

Koncepce řešení

Tónový generátor patří v elektronice k nejčastěji používaným přístrojům. Požadujeme, aby generoval harmonický signál nastavitelné velikosti, s dostatečně malým nelineárním zkreslením v širokém rozsahu kmitočtů. Úkol, takový generátor vytvořit, vyřešila vynikajícím způsobem

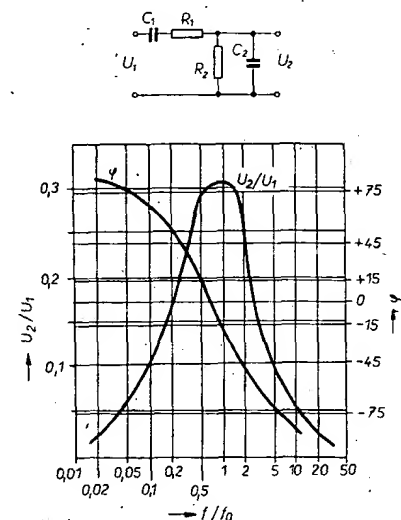
firma Hewlett-Packard již v roce 1939. Tónový generátor s Wienovým můstkem podle vlastní koncepce byl prvním přístrojem firmy, kterým začal její úspěšný rozvoj. Na nízkých kmitočtech zatím nelze vytvořit laděný obvod, přeladitelný v dostatečně širokém rozsahu kmitočtů. Proto autor zapojení (Olivieri) použil pro ladění Wienův článek (obr. 5). Tento článek nepřenáší nejnižší kmitočty, brání tomu kondenzátor C_1 . Obdobně je přenos nulový pro vysoké kmitočty, které jsou zkracovány kondenzátorem C_2 . Přenos článku je kmitočtově závislý s maximem na kmitočtu $\omega = \sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}$. Obvykle se volí $R_1 = R_2 = R$ a $C_1 = C_2 = C$. Maximální přenos na kmitočtu $\omega = 1/RC$ je 0,33. Olivieri použil k ladění článku v té době zcela běžné dvojité otočné kondenzátory. Při maximální kapacitě $C = 500$ pF lze přepínáním rezistorů od stovek ohmů do desítek MΩ přeladit článek v celém potřebném rozsahu kmitočtů od jednotek Hz do jednotek MHz. Wienův článek se snadno připojoval na vstup elektronického zesilovače, jehož vstupní odpor byl dostatečně velký a umožňoval proto ladění článku kondenzátorem. Wienův článek sám o sobě však určuje pouze kmitočet, na kterém má generátor kmitat. Dále je třeba určit amplitudu. Ta byla definována odporovým děličem, který Wienův článek doplňuje do můstku. Součinitel přenosu děliče závisí na amplitudě výstupního signálu. Jako součástku, jejíž odpor závisí na velikosti přivedeného signálu, použil Olivieri žárovku. Tím bylo vytvořeno klasické zapojení generátoru RC s Wienovým můstkem a stabilizací amplitudy kmitů žárovkou. Přes velké množství dalších zapojení a variant generátorů, vytvořených v následujících letech, zůstává klasická koncepce technicko-ekonomickým optimem generátorů pro běžnou potřebu.

Popis zapojení

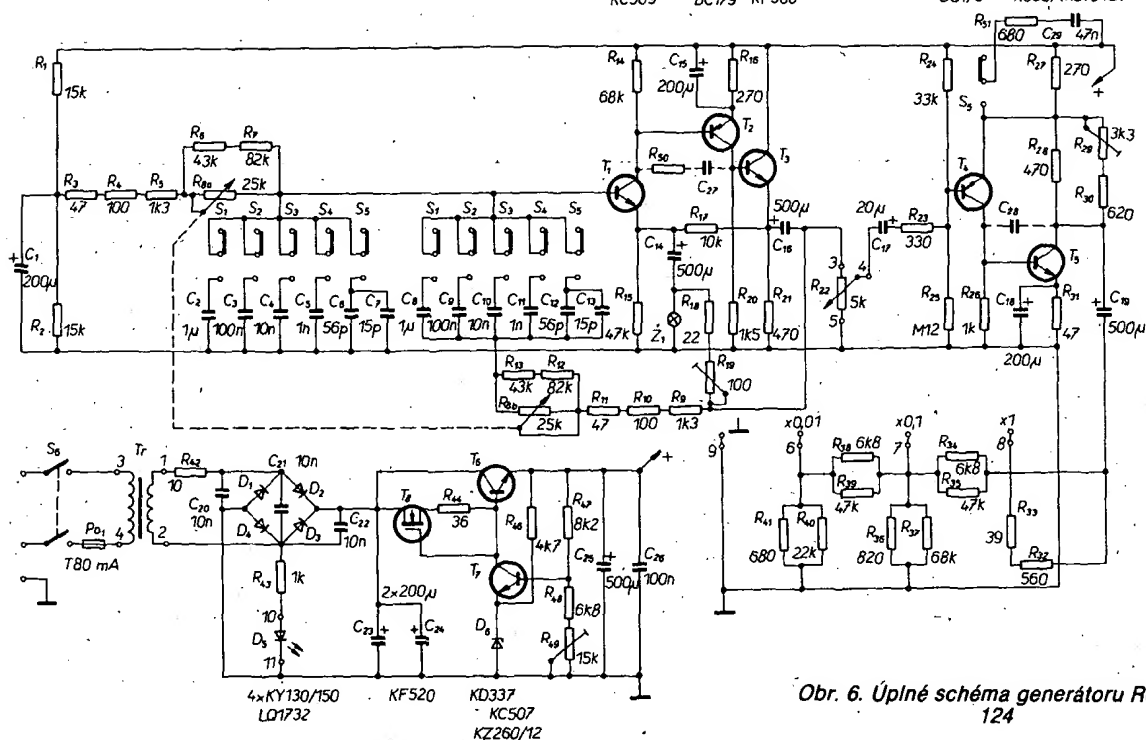
Wienův článek. Desítky let se Wienův článek generátorů ladil dvojitým otočným kondenzátorem. Vyhovujícího průběhu stupnice se snadno dosáhlo vhodným tvarem desek rotoru, byl zaručen souběh, malý rozptyl parametrů kondenzátorů. Kvalitní dvojitý otočný kondenzátor se

však postupně stával stále méně dostupnou součástí. Jeho cena a rozměry by pro školní generátor nebyly únosné. Proto je zvoleno ladění proměnným odporem. Vyhovující průběh stupnice vyžaduje použití potenciometru s logaritmickým průběhem. Nejlepší zaručený souběh je 2 dB, proto je u BK 124 specifikována chyba kmitočtu ± 15 %. Výhodou ladění dvojitým potenciometrem je možnost volit součástky tak, že jsou menší požadavky na vstupní odpor zesilovače než při ladění dvojitým kondenzátorem (2×500 pF).

Zesilovač. Původně se v generátorech RC používal dvoustupňový zesilovač se dvěma elektronkami. Měl vyhovující zesílení, dostatečnou šířku pásma, velký vstupní odpor. Dělič s žárovkou se zapojoval do katodového obvodu. Z mnoha variant tranzistorových zesilovačů se pro kvalitní generátory s malým zkreslením osvědčilo zapojení se třemi stejnosměrně vázanými tranzistory, které je užito



Obr. 5. Zapojení a charakteristika Wienova článku



Obr. 6. Úplné schéma generátoru RC BK 124

i v BK-124 (T_1 , T_2 a T_3 na obr. 6). Zapojení je jednoduché, má silnou zápornou zpětnou vazbu stabilizující pracovní body přes R_{17} . Volba ss vazby a kombinace tranzistoru n-p-n a p-n-p optimálně využívá napájecího napětí. Ss vazba zjednodušuje zapojení, zlepšuje stabilizaci pracovních bodů a odstraňuje nežádoucí vazební členy RC. Zapojení děliče R_1 , R_2 , C_1 na zemní stranu Wienova článku umožňuje užít jeden napájecí zdroj, aniž by se zmenšil vstupní odpor zesilovače obvodu pro předpětí báze tranzistoru T_1 . Zesilovač tohoto provedení představuje optimum mezi šířkou pásma (umožňuje realizovat generátor do kmitočtu 1 MHz) a velikostí nelineárního zkreslení. Běžně lze dosáhnout na středních kmitočtech zkreslení řádu setin procenta.

Dále zmenšit nelineární zkreslení by již znamenalo omezit širokopásmovost a komplikovat zapojení. Kromě obvodu stabilizace amplitudy by bylo nutno změnit i zapojení zesilovače. Základní nevýhodou Wienova můstku při realizaci generátorů s velmi malým nelineárním zkreslením je totiž veškerá soufázová složka (třetina výstupního napětí) generovaného signálu. Pro generátory s velmi malým nelineárním zkreslením (pod 0,01 %) musí být použit zesilovač s velkým potlačením soufázové složky signálu. Pro nízké kmitočty lze takové zesilovače nalézt např. mezi operačními zesilovači. U nás běžně dostupné operační zesilovače však neumožňují vytvořit generátor pro kmitočty do 1 MHz. Proto byla dána přednost zapojení s T_1 , T_2 a T_3 v obr. 6. Podrobněji jsou z hlediska návrhu a vlastní návrh zapojení popsány v Amatérském rádiu č. 12/1972 a 1/1973 (v článku Horstský, J.: Tónový generátor pro techniku Hi-Fi).

Stabilizace amplitudy kmitů. Také otázku stabilizace amplitudy kmitů lze řešit různými způsoby, od nejjednoduššího omezení amplitudy nelinearitou použitého zesilovače až po složité zpětnovazební

smyčky s operačními usměrňovači, zdroji referenčního napětí, zesilovači regulační odchylky a řízeného prvku tvořeného fotorezistorem, FET nebo analogovou násobkou.

Nejprostší řešení s žárovkou bylo zvoleno pro jednoduchost, vyhovující stabilizační účinky, výhodné dosažitelné nelineární zkreslení (0,05 %), cenu a odolnost proti poškození. Univerzální generátor musí umožnit nastavit amplitudu kmitů v rozsahu alespoň 1 : 1000 (1 mV až 1 V). Toho lze dosáhnout pevným (-20 dB, -40 dB) a proměnným zesilovačem 0 až -20 dB. Mezi plynulý a skokový zesilovač je zařazen oddělovací zesilovač s přimávanou dvojicí tranzistorů T_4 a T_5 , který odděluje zesilovače, upravuje úroveň signálu a potlačuje vliv zátěže na vlastnosti generátoru.

Splnění bezpečnostních požadavků. Primární obvod síťového transformátoru je chráněn tavnou pojistkou Po_1 . Obvody generátoru jsou spojeny s kóstrou přístroje, proto nejsou kladeny zvláštní požadavky na transformátor. Jeho izolace mezi primárním a sekundárním vinutím je navržena tak, že vyhovuje zkušebnímu střídavému napětí 2 kV.

U malého transformátoru díky velkému vnitřnímu odporu (odporu vinutí) zkrat v sekundárním obvodu nepřeruší tavnou pojistku na primární straně. Proto se v takovém případě do obvodu zapojuje v sérii se sekundárním vinutím rezistor, který v případě zkratu přehoří nebo omezí zkratový proud tak, aby se transformátor nepřehřál a nepoškodil (připouští se oteplení oproti okolí o 135 °C). Ve zdroji generátoru BK 124 je jím R_{42} . Ochrana působí jak při poruchových stavech – zkraty usměrňovacích diod, vyhlazovacích kondenzátorů – tak i při zkratu za stabilizátorem. Pro takový případ je dostatečně výkonově dimenzován tranzistor T_6 .

Zajímavým prvkem ve zdroji je tranzistor FET (T_8). V běžných zapojeních je na této pozici připojen rezistor nebo dva rezistory, uprostřed blokové kondenzátorem proti společné svorce. V našem případě tvoří T_8 , R_{44} proudový zdroj, jehož přednosti jsou v tom, že

- zvětšuje zatěžovací odpor zesilovače odchylky stabilizátoru (tranzistoru T_7), čímž se zvětšuje zesílení a zlepšuje stabilizační účinek,
- velký vnitřní odpor proudového zdroje brání pronikání rušení a brumů do obvodu stabilizátoru. Výstupní napětí má proto velmi malé zvlnění a umožňuje dosáhnout velmi malého zkreslení nf signálu.

Nastavovací prvky

- R_3 , R_4 a R_{11} , R_{10} – jejich přemostěním se vymezuje kmitočet na horním konci rozsahu,
- R_6 , R_7 a R_{13} , R_{12} – přemostěním možno vymezit rozsah přeladění,
- R_{19} – nastavení zpětné vazby – optimalizace stabilizačních účinků (stabilizace amplitudy) a velikosti nelineárního zkreslení,
- R_{29} – nastavení max. výstupního napětí,
- R_{49} – nastavení napájecího napětí.

Vlastnosti generátoru

Technické údaje generátoru v instrukční knížce ukazují zaručené údaje, které musí být v souladu s požadavkem GOST 22 261-82 splněny při výrobě alespoň s 20 % rezervou. Typické vlastnosti, různé pro konkrétní výrobky, jsou lepší. Pro bližší poznání vlastností přístroje uvedeme některé změřené zajímavější závislosti pro určitý konkrétní generátor BK 124.

Vliv napájecího napětí sítě

Přístroj má stabilizovaný zdroj a je v širokém rozmezí necitlivý ke změnám napájecího napětí sítě.

U sítě [V]	160	180	198	220	242
U výst. gen. [V]	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28
f [kHz]	4,673	4,674	4,675	4,676	4,676
Nelin. zkr. [%]	2.	0,48	0,064	0,064	0,064

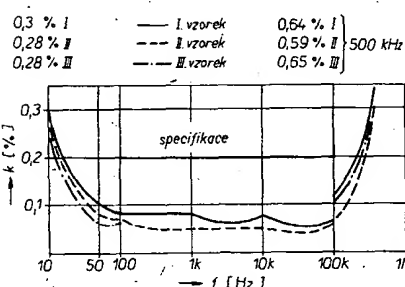
Ustálení generátoru po zapnutí

Specifikovaná doba náběhu je 10 minut. Vlastnosti signálu po zapnutí se však mění jen velmi málo, pouze se nepatrně zmenšuje nelineární zkreslení.

Doba provozu [minut]	$U_{\text{výst}} [V]$	$f [kHz]$	Zkreslení [%]
1	1,22	0,980	0,089
3	1,25	0,980	0,088
5	1,24	0,980	0,087
10	1,24	0,980	0,085
60	1,24	0,980	0,082

Kmitočtová závislost výstupního napětí

Výstupní napětí při přeladění v rámci rozsahu kolísá v rozmezí několika %, na rozsahu 100 kHz až 1 MHz se nastavuje změnou zpětné vazby oddělovacího stupně T_4 , T_5 . Nelineární zkreslení závisí na nastavení zpětné vazby trimrem R_{19} . Příklady změřených závislostí pro tři vzorky generátoru jsou na obr. 7.



Obr. 7. Příklad závislosti nelineárního zkreslení na nastaveném kmitočtu pro vzorky BK-124 ukazuje prakticky shodné vlastnosti na nízkých a na vysokých kmitočtech a velkou rezervu ve specifikované oblasti

Nelineární zkreslení na nejnižším kmitočtu 10 Hz je asi 0,3 %. Je určeno vlastnostmi žárovky Z_1 . Se zvyšujícím se kmitočtem se rychle snižuje a pro kmitočty 50 Hz je již menší než 0,1 %. V oblasti kmitočtů 100 Hz až 100 kHz je mezi 0,04 až 0,09 % (to je čtvrtina až polovina ze specifikované velikosti 0,2 %). Na rozsahu 100 kHz až 1 MHz se znovu zvětšuje vlivem vlastností použitých zesilovačů. Pro 100 kHz je kolem 0,1 %, pro 500 kHz kolem 0,6 %. Výstupní odpor generátoru je 600 Ω . Na nejvyšších kmitočtech se zmenšuje o méně než 20 %. Chyba zeslabovače, specifikovaná 2 dB, bývá ve skutečnosti menší než 0,5 dB. Plynulé zeslabení (20 dB) lze nastavit s rezervou, regulace pracuje asi do 30 dB.

Stabilita kmitočtu je specifikována $\pm 2 \cdot 10^{-3} / 10$ minut. Naměřené vlastnosti v referenčních podmínkách ($U_s = 220 V$, $t_o = 23^\circ C$, při U_{max} na zátěži 600 Ω) byly za 60 minut (měřeno po 10 minutách) na rozsahu: do 100 Hz $\pm 3 \cdot 10^{-4}$, do 1 kHz $2 \cdot 10 \cdot 10^{-4}$, do 10 kHz $10 \cdot 10^{-4}$, do 100 kHz $3 \cdot 10^{-4}$ a do 1 MHz $4 \cdot 10^{-4}$.

Snižováním teploty okolí na $5^\circ C$ nebo zvýšením na $43^\circ C$ se změnilo výstupní napětí i nelineární zkreslení zanedbatelně. Změna kmitočtu je menší než opakovatelnost nastavení (chyba čtení stupnice). Na rozsahu 100 kHz až 1 MHz se zvýšil kmitočet asi o 1 % při snížení teploty z 23 na $5^\circ C$.

Uvedené vlastnosti dokazují, že generátor má optimální vlastnosti pro běžné používání při jednoduchém a osvědčeném obvodovém řešení, z něhož by měla plynout i velká spolehlivost přístroje.

Školní stabilizované zdroje BK 125 (126)

jsou univerzální zdroje pevných napětí $\pm 5 V$ a symetrických napětí $\pm 15 V$ (12 V). Přístroje jsou určeny především k napájení zařízení s operačními zesilovači a číselnými obvody. Trvale je možno odebírat proudy 1 A z výstupu $\pm 5 V$ a 0,3 A (0,4 A) z výstupů $\pm 15 V$ (12 V), špičkové proudy minimálně o 25 % větší. Zdroje jsou vybaveny indikací přetížení, tj. překročení jmenovitého maximálního povoleného odběru jednotlivých zdrojů, nebo zmenšení výstupního napětí při vypnutí elektronické pojistky.

Oba typy přístrojů mají shodné konstrukční i obvodové řešení, liší se jen velikostí symetrických napětí a povoleným odebíraným proudem. Stabilizované zdroje BK 125 a BK 126 splňují požadavky na zdroj bezpečného napětí podle ČSN 35 1560. Vnější vzhled můžeme posoudit z obr. 8.

Obr. 8. Školní stabilizované zdroje BK 125 a BK 126 (na 4. straně obálky)

Základní technické údaje

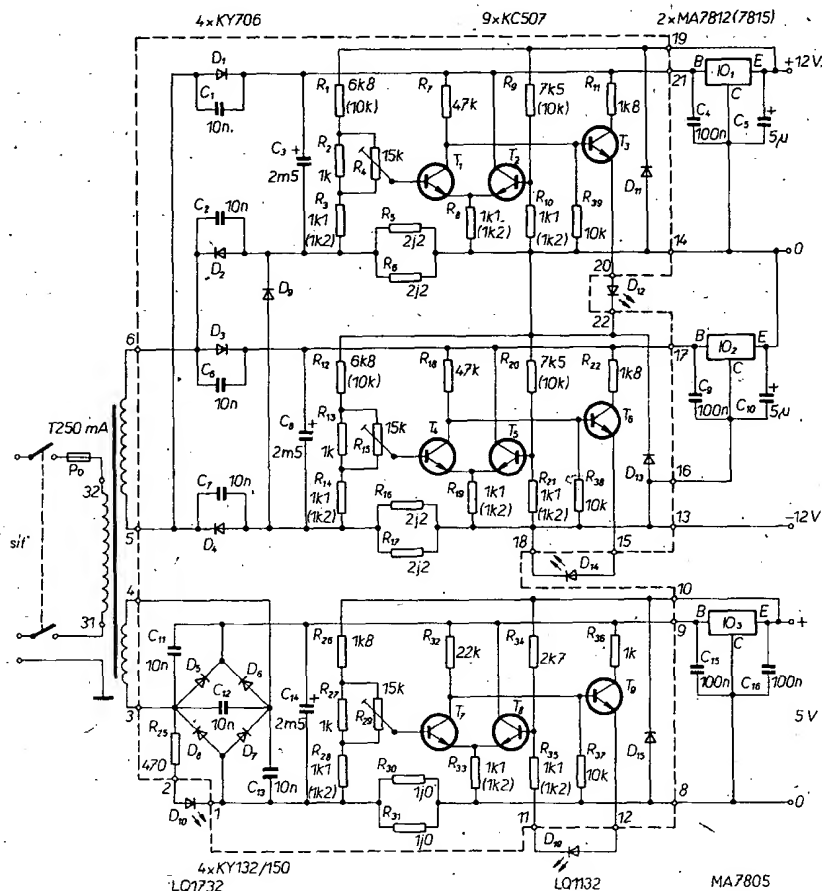
Výstupní napětí I:	BK 125	BK 126
Maximální výstupní proud:	$\pm 5 V \pm 5 \%$	1 A
Omezení proudu elektronickou pojistkou:	asi 2 A	
Stabilita výstupního napětí se změnou sítě $\pm 10 \%$:	lepší než $3 \cdot 10^{-3}$	
Zvlnění (mezi vřcholová velikost):	menší než 10 mV	
Indikace přetížení při odběru:	větší než 1 A	
Výstupní napětí II:	$\pm 15 V$, $\pm 12 V$	
Maximální výstupní proud:	0,3 A, 0,4 A	

Omezení výstupního proudu elektronickou pojistkou:
Stabilita výstupního napětí se změnou sítě $\pm 10 \%$:
Zvlnění (mezi vřcholová velikost):
Indikace přetížení při odběru větším než:
Pracovní teplota okolí:
Napájecí napětí:
Příkon:

asi 2 A
lepší než $3 \cdot 10^{-3}$
menší než 10 mV
0,3 A, 0,4 A
 $+5^\circ C$ až $+40^\circ C$
 $220 V \pm 10 \%$
max. 60 VA

Koncepce řešení

vychází z uvážení potřeb uživatelů. Podobně jako tomu bylo při vývoji elektronik, kdy se sjednocoval rozsah anodových a žhavicích napětí, sledujeme dnes trend sjednocování napájecích napětí u obvodů s aktivními polovodičovými prvky. U lineárních integrovaných obvodů převládá napájecí napětí $\pm 15 V$, u obvodů číselkové techniky převládá $\pm 5 V$, $\pm 12 V$ (příp. $-5 V$). Často se vyskytne případ, že potřebujeme současně napětí $\pm 5 V$ (pro TTL obvody) i $\pm 15 V$ nebo $\pm 12 V$ pro diskretní prvky (operační zesilovače, převodníky...). Jde-li o nenáročná zařízení a experimentální zapojení, je nevhodné používat nepřiměřené dráhy, složité, pro obsluhu málo přehledné kombinované napájecí zdroje proměnných napětí s možností odběru proudů jednotek ampérů. Ani „skládat“ několik jednoduchých zdrojů (např. typu BK 127) není nejvhodnějším řešením, jak z hlediska ekonomického, tak uživatelského – uvažme např. požadavek současně zapnout tři napájecí zdroje. (Postupné zapínání může mít někdy nepříznivý vliv na napájené obvody.) V těchto případech plně vyhoví malý jednoduchý napájecí zdroj, který má několik pevných výstupních napětí.



Obr. 9. Úplné schéma stabilizovaných zdrojů BK 125 a BK 126

Na vlastnosti takového zdroje nemáme příliš velké nároky. Požadujeme výstupní napětí v toleranci do 5 %, proudy v rozsahu stovky mA až jeden A, indikaci provozního a mimoprovozního stavu. Velké nároky máme ovšem na splnění požadavků bezpečnosti.

Výsledkem řešení zdrojů této koncepce jsou přístroje BK 125 a BK 126. Vyznačují se jednoduchým zapojením, použitím monolitických integrovaných stabilizátorů, malými rozměry a relativně nízkými pořizovacími náklady. Výstup +5 V s povoleným odběrem do 1 A vyhoví pro napájení několika desítek pouzder integrovaných obvodů TTL, pro běžné aplikace plně vyhoví max. povolený proud 0,3 A větvi ±15 V u BK 125 a 0,4 A výstupů ±12 V u BK 126.

Popis zapojení

Celkové schéma přístroje je na obr. 9. Každá ze tří větví obsahuje monolitický integrovaný stabilizátor a obvod indikace překročení povoleného proudu. Obě větve zdroje symetrického napětí jsou napájeny z jediného vinutí síťového transformátoru. Usměrňovače s diodami D_1 , D_2 a D_3 , D_4 oddělují galvanicky vstupní obvody obou větví, avšak usměrňují střídavé napětí jednocestně. K potlačení rušení velkými proudovými impulsy jsou diody přemostěny kondenzátory.

Větev zdroje 5 V je napájena ze samostatného vinutí transformátoru. Kondenzátory C_{11} až C_{13} omezují rušení vznikající v můstkovém usměrňovači D_5 až D_8 .

Funkce obvodu indikace překročení max. proudu (příklad pro zdroj +5 V): při povoleném odběru vytváří proud na rezistorech R_{30} a R_{31} malý úbytek napětí, tranzistor T_7 (v rozdílovém zesilovači) je otevřený, T_8 zavřený. Tranzistor T_9 proto nevede, dioda D_{16} nesvítí. Zvětší-li se odebraný proud, nastane stav, kdy vlivem úbytku napětí na R_{30} , R_{31} se zmenší napětí báze tranzistoru T_7 pod úroveň napětí báze tranzistoru T_8 . Tranzistor T_7 se uzavře, proudem protékajícím přes rezistor R_{32} do báze je tranzistor T_9 otevřen a dioda D_{16} se rozsvítí.

Zvětšením proudu protékajícího přes snímací rezistory R_{30} , R_{31} o proud svítivou diodou je dosaženo mírné hystereze obvodu. Přes rezistor R_{32} je tranzistor T_9 otevřen i tehdy, vypne-li elektronická pojistka integrovaného obvodu IO_3 a zmenší-li se výstupní napětí. Rozdílové zapojení tranzistorů T_7 a T_8 zajišťuje dobré teplotní vlastnosti obvodu. Integrovaný stabilizátor IO_3 má na svorky připojeny výrobcem doporučené kondenzátory C_{15} , C_{16} . Dioda D_{15} jej chrání proti poškození proudem vnučeným do výstupních svorek. Činnost obvodů v ostatních větvích je shodná.

Splnění bezpečnostních požadavků

Síťový transformátor je navržen s izolací vyhovující střídavému zkušebnímu napětí 4 kV mezi primárním a sekundárním vinutím a napětí 2 kV všech vinutí proti jádru. Vůči kostře přístroje musí takovému napětí vyhovět obvody všech zdrojů, tedy včetně izolace integrovaných obvodů od chladičů, řešené zvláštní konstrukcí. Při poruchových stavech (zkrat na usměrňovacích diodách a vyhlazovacích kondenzátorech) se vždy buď přeruší tavná pojistka v primárním obvodu, nebo je

proud sekundárním obvodem tak malý, že se transformátor nadměrně neotepluje. Zvláštní funkci má dioda D_9 . Bez ní by při zkratu diody D_4 proud protékající přes R_{16} , R_{17} , D_{13} , R_5 , R_6 , D_2 způsobil přehřátí transformátoru, aniž by se přerušila pojistka Po. V zapojení s diodou však bude proud protékat jen přes D_9 a D_2 , jeho velikost proto postačuje k přerušení pojistky v primárním obvodu.

Vypínací proudy elektronické pojistky integrovaných obvodů řady MA7800 jsou větší než jmenovité max. hodnoty povoleného odběru proudu z výstupů přístroje a proto je možné odebírat ve špičkách i větší proud než je specifikovaný.

Obvody zdrojů symetrického napětí, které jsou napájeny ze společného vinutí transformátoru, můžeme při malém odběru z jedné větve zatížit v druhé větvi i větším proudem, než je povoleno, bude-li spínáno, že:

- součet proudů obou zdrojů nebude větší než součet proudů specifikovaných,
- v „zatíženější“ větvi se nesmí ještě zvětšovat zvlnění, které svědčí o nedostatečném napětí na vstupu stabilizátoru (kontrolujeme osciloskopem). Záleží na skutečné velikosti napětí sítě.

Nastavovací prvky

Odporové trimry R_4 , R_{15} , R_{29} slouží k nastavení prahu indikace překročení příslušného max. povoleného proudu. Jiné prvky se nenastavují.

Vlastnosti zdrojů BK 125, BK 126

Parametry, uvedené v technických údajích, charakterizují pouze základní vlastnosti přístrojů. Musí být při výrobě splněny,

ny, v souladu s GOST 22261-80, nejméně s 20 % rezervou. Skutečné parametry jsou lepší. Příklady některých konkrétně dosahovaných vlastností si ukážeme dále.

Stabilizační vlastnosti

Zdroj obvykle provozujeme při napájení síťovým napětím v místnosti, kde teplota kolísá maximálně asi od 18 do 28 °C. Jak se zdroje BK 125 a BK 126 chovají v širším rozmezí napájecího napětí a teploty, je zřejmé z tabulky.

Z tabulky plyne, jak značná rezerva je ve specifikaci přístroje. Specifikace zaručuje parametry pro síťové napětí 220 V ±10 %. Dále je zřejmé, že při zvětšení napájecího napětí o 20 % se parametry prakticky nemění. Zmenšení napětí sítě o 10 % se neprojeví, 20 % se projeví pouze zvětšením zvlnění. Zvlnění a šum výstupního napětí je o řád menší, než je specifikováno (spec. 10 mV). Teplotní závislost výstupního napětí je malá. V tabulce se můžeme přesvědčit, že všechny větve stabilizátorů nemají větší teplotní závislost než -0,02 %/°C.

Velikost vnitřního odporu je specifikována jako menší než 200 mΩ. U všech větví zdrojů je skutečná velikost v celém rozmezí teplot menší než 50 mΩ. Změnu zátěže z nuly na maximálně povolený proud zdroje vyrovná během několika desítek mikrosekund se zákmity několik stovek milivoltů.

Stabilita výstupního napětí se změnou napětí sítě ±10 % je definována menší než $3 \cdot 10^{-3}$. Ve všech větvích zdroje je změřená stabilita lepší než $1 \cdot 10^{-3}$ (0,15 až 0,8 $\cdot 10^{-3}$). Časová stabilita je lepší než $1 \cdot 10^{-3}$ za hodinu (specifikace $5 \cdot 10^{-3}$ za hodinu).

$U_{\text{sít}} [V]$	[°C]	160	180	200	220	242	Poznámka
+5 V							
$U_{\text{výst}} [V]$	23	4,324	4,869	4,956	4,956	4,955	BK 125 zdroj +5 V / = 1 A
	5	4,548	4,960	4,966	4,966	4,966	
	45	4,486	4,944	4,949	4,949	4,949	
	45	1 200	400	1	1	1	
Zvlnění $U_{\text{mv}} [mV]$	23	1 200	400	1	1	1	
	5	1 400	600	1	1	1	
	45	1 100	180	1	1	1	
+15 V							
$U_{\text{výst}} [V]$	23	13,822	15,044	15,044	15,044	15,044	zdroj +15 V / = 0,3 A
	5	14,222	15,070	15,071	15,072	15,072	
	45	14,466	15,024	15,014	15,014	15,014	
	45	1 400	1	1	1	1	
Zvlnění $U_{\text{mv}} [mV]$	23	1 400	1	1	1	1	
	5	1 600	1	1	1	1	
	45	1 300	1	1	1	1	
-15 V							
$U_{\text{výst}} [V]$	23	14,012	-15,302	-15,303	-15,303	-15,306	zdroj -15 V / = 0,3 A
	5	14,431	-15,341	-15,344	-15,344	-15,344	
	45	14,339	-15,326	-15,326	-15,326	-15,326	
	45	1 600	4	1	1	1	
Zvlnění $U_{\text{mv}} [mV]$	23	1 600	1	1	1	1	
	5	1 600	1	1	1	1	
	45	1 500	2	1	1	1	
+12 V							
$U_{\text{výst}} [V]$	23	12,110	12,285	12,279	12,271	12,266	BK 126 zdroj +12 V / = 0,3 A
	5	12,091	13,310	12,304	12,304	12,304	
	45	12,166	12,249	12,245	12,245	12,247	
	45	800	2	1	1	1	
Zvlnění $U_{\text{mv}} [mV]$	23	800	2	1	1	1	
	5	500	1	1	1	1	
	45	500	1	1	1	1	
-12 V							
$U_{\text{výst}} [V]$	23	-11,963	-12,103	-12,099	-12,091	-12,082	zdroj -12 V / = 0,3 A
	5	-12,082	-12,157	-12,154	-12,150	-12,142	
	45	-11,975	-12,102	-12,094	-12,088	-12,079	
	45	600	2	1	1	1	
Zvlnění $U_{\text{mv}} [mV]$	23	600	2	1	1	1	
	5	400	1	1	1	1	
	45	600	2	1	1	1	

Školní stabilizovaný zdroj BK 127

je všestranně použitelný stabilizovaný zdroj napětí nastavitelného v rozsahu 0 až 20 V s možností odběru proudu do 1 A. Plynule nastavitelná ochrana proti přetížení omezuje výstupní proud na předem nastavenou velikost. Nastavené napětí nebo odebíraný proud je možno přečíst na vestavěném měřidle. Přístroj se vyznačuje jednoduchou obsluhou – na čelním panelu jsou pouze následující ovládací prvky – síťový spínač, potenciometr pro nastavení výstupního napětí, potenciometr k nastavení max. výstupního proudu a přepínač funkcí měřidla „proud – napětí“. Ke snadné obsluze přispívá i přehledné a dostatečně jemné členění stupnice měřidla. Stabilizovaný zdroj BK 127 splňuje požadavky na zdroj bezpečného napětí podle ČSN 35 1560. Vzhled přístroje můžeme posoudit z obr. 10.

Obr. 10. Školní stabilizovaný zdroj BK 127 (na 4. straně obálky)

Základní technické údaje

Výstupní napětí: 0 až 20 V.

Výstupní proud: 0 až 1 A.

Omezení výstupního proudu elektronickou pojistkou: nastavitelné, 100 mA až 1 A, funkce pojistky indikována svítivou diodou.

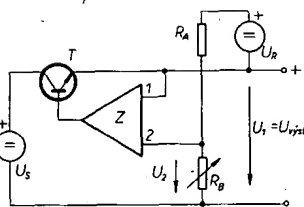
Stabilita výstupního napětí

- se změnou sítě $\pm 10\%$: lepší než $\pm 0,15\%$,
- se změnou výstupního proudu z 0 na 1 A: lepší než $\pm 0,15\% + 20\text{ mV}$,
- se změnou teploty: lepší než $\pm 0,25\%/^{\circ}\text{C}$.

Stability jsou definovány po 30 minutách provozu, přístroj však může být použit ihned po zapnutí.

Zvlnění a šum: menší než 10 mV v pásmu 10 Hz až 10 MHz.

Max. napětí výstupních svorek proti kose: 42 V.



Obr. 11. Princip činnosti stabilizátoru napětí použitého ve stabilizovaném zdroji BK 127

Chyba měření napětí a proudu: lepší než $\pm 3\%$ z plné výchylky ručky měřidla.

Pracovní teplota okolí: $+5$ až $+40^{\circ}\text{C}$.

Napájecí napětí: $220\text{ V} \pm 10\%$.

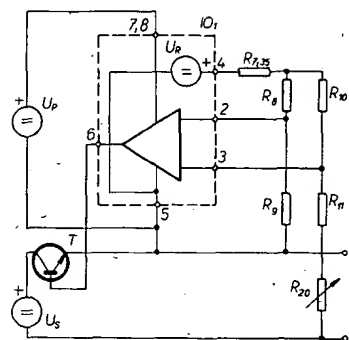
Příkon: max. 60 VA.

Rozměry, hmotnost: $175 \times 90 \times 190$; asi 3 kg.

Poznámka: Při výstupních napětích do 8 V a zejména při práci s teplotami okolí blízkými povolené horní mezi (40°C) se doporučuje nevyužívat max. odběr 1 A, ale redukovat jej o 50 %. Kritériem k omezení je provozní teplota přístroje. Pokud teplota chladiče na zadním panelu přístroje nebude vyšší než 65°C (zjednodušený test – na chladiči lze ještě udržet dlaně) a zajistíme-li účinné ochlazování nebo není-li zážeh trvalá, nemusíme omezení respektovat.

Koncepce řešení

Univerzální regulovatelný zdroj patří bezesporu mezi nejpoužívanější přístroje laboratorů a dílen. Při jeho návrhu musíme vycházet z předpokládaného použití a podle toho optimalizovat parametry přístroje, obvodové i konstrukční řešení. S nástupem polovodičových prvků se u řady obvodů a zařízení s jedním napájecím napětím ustálila jeho velikost převážně v rozmezí 1,2 až 15 V. Např. napájecí napětí 1,2 V se používá v digitálních hodinkách, až 4,5 V v kapesních kalkuláto-



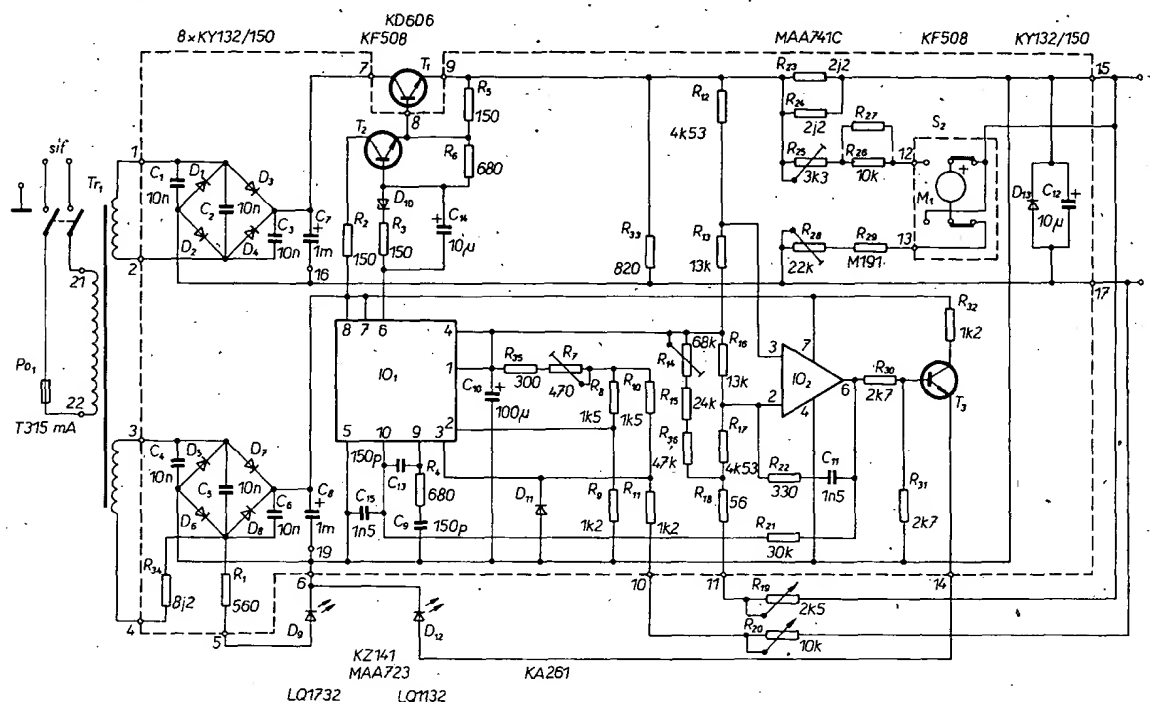
Obr. 12. Zjednodušené zapojení stabilizátoru zdroje BK 127

rech, do 12 V bývá napájení přenosných přijímačů, magnetofonů, případně televizních přijímačů. Napětí 15 V se používá v zařízeních napájených ze sítě s kombinací diskretních a integrovaných polovodičových prvků. Ve stejném rozsahu proto leží i požadavky na napájení nejrůznějších experimentálních zapojení.

Pro převážnou část potřeb vyhoví zdroj, který pokryje uvedené rozsahy napětí a umožní odběr proudu až do velikosti 1 A. Při použití ve školách a zájmových organizacích musíme v první řadě přihlídnout k otázce bezpečnosti přístroje. Je-li výrobek určen pro práci s mládeží (a nejen s mládeží!), měli bychom zásadně používat průmyslové výrobky se zaručenou bezpečností a navíc je podrobovat i periodickým kontrolám.

Z výše uvedených důvodů a s ohledem na zvláštnosti výchovného procesu jsme stanovili následující požadavky:

- zdroj bezpečného napětí podle ČSN 35 1560,
- výstupní napětí menší než 24 V, (větší napětí pro práci s dětmi nepovažujeme za vhodné),
- plynulá regulace výstupního napětí od nuly,
- plynule nastavitelná elektronická pojistka typu „proudové omezení“ s indikační funkcí,



Obr. 13. Úplné schéma stabilizovaného zdroje BK 127 –

- možnost snadno měřit výstupní napětí a odebíraný proud,
- jednoduchá obsluha, zvláštní důraz na ergonomii a estetiku,
- optimalizace provedení, parametrů a ceny.

Zvolený rozsah výstupního napětí 0 až 20 V má výhodu v tom, že pokryje většinu běžných potřeb a navíc lze dostatečně přesně číst výstupní napětí na stupnici měřidla, pro regulaci vyhovuje vrstvý potenciometr a není proto nutné používat drahý speciální potenciometr nebo z hlediska obsluhy nepohodlnou kombinaci přepínač + potenciometr (nastavení hrubé a jemné).

Zdroj má minimum ovládacích prvků (obr. 10):

- potenciometry k nastavení výstupního napětí,
 - potenciometry k nastavení omezení výstupního proudu,
 - tlačítko přepínače funkce měřidla „proud – napětí“,
 - tlačítko síťového spínače.
- Indikační prvky jsou:
- měřidlo,
 - signálka indikující proudové omezení,
 - signálka indikující provozní stav zdroje.

Popis zdroje

Princip obvodu stabilizátoru napětí je zřejmý z obr. 11. Zapojení se skládá ze zdroje referenčního napětí U_R , děliče R_A , R_B ; zesilovače odchylky Z a regulačního členu (tranzistoru T). Na vstup obvodu je přiváděno z napáječe nestabilizované napětí U_S . Stabilizátor udržuje konstantní velikost výstupního napětí $U_{\text{výst}}$, nastaveného potenciometrem R_B . Regulační smyčka pracuje tak, že je zápornou zpětnou vazbou neustále udržováno nulové rozdílové napětí na vstupech 1, 2 zesilovače odchylky, tzn. musí platit

$$U_2 - U_1 = 0$$

Vyjádříme U_2 jako napětí na děliči R_A , R_B

$$U_2 = \frac{R_B}{R_A + R_B} (U_R + U_{\text{výst}}).$$

Z obr. 11. vidíme, že platí

$$U_1 = U_{\text{výst}}.$$

Dosažením druhého a třetího vztahu do výchozí rovnice dostaneme

$$\frac{R_B}{R_A + R_B} (U_R + U_{\text{výst}}) - U_{\text{výst}} = 0$$

a po úpravě
$$U_{\text{výst}} = \frac{R_B}{R_A} U_R.$$

Z výsledku vyplývá, že výstupní napětí je přímo úměrné velikosti odporu potenciometru R_B . Tzn., že lineárním potenciometrem budeme lineárně (rovnoměrně) měnit výstupní napětí. Velikostí R_A můžeme nastavovat maximální výstupní napětí zdroje.

Jako zesilovač odchylky i zdroj referenčního napětí je použit integrovaný obvod MAA723. Zjednodušené schéma je na obr. 12. IO_1 je napájen z pomocného zdroje napětí U_P . Protože vstupy zesilovače IO_1 nemohou být připojeny přímo na potenciál kladné výstupní svorky (tj. vzhledem k jeho napájecímu napětí U_P na nulový potenciál), jsou použity dva shod-

né děliče R_8 , R_9 a R_{10} , R_{11} . Tím je zaručeno, že napětí na vstupech 2, 3 integrovaného obvodu IO_1 jsou vůči vývodu 5 větší než minimálně potřebné 2 V. Označení prvků odpovídá celkovému schématu – viz obr. 13.

Zdrojem U_S je můstkový usměrňovač D_1 až D_4 , připojený k vinutí 1–2 transformátoru Tr_1 . Kondenzátory C_1 až C_3 potlačují rušení vznikající na usměrňovacích diodách. Zdrojem U_P je stejné zapojení – usměrňovač D_5 až D_8 připojený k vinutí 3–4 síťového transformátoru.

Za pozornost stojí splnění bezpečnostních parametrů. Vysoké nároky jsou kladeny na samotný transformátor. Izolace mezi primárním a sekundárním vinutím musí vyhovět střídavému zkušebnímu napětí 4 kV, všechna vinutí proti jádru napětí 2 kV. Při poruchových stavech v obvodu usměrňovače D_1 až D_4 (zkrat jedné z diod, zkrat C_7) se zvětší proud sekundárním a tím i primárním vinutím natolik, že se přeruší tavná pojistka PO_1 . Jinak je tomu u usměrňovače D_5 až D_8 . Vinutí 3–4 je dimenzováno na podstatně menší odběr proudu než vinutí 1–2, je navinuto tenčí vodičem, má větší vnitřní odpor. Při poruchovém stavu se proto dostatečně nezvětší primární proud a PO_1 se nepřeruší. (Volit pojistku pro menší jmenovitý proud nelze, neboť by se přerušila při plném povoleném zatížení zdroje.) Proto je do obvodu zařazen rezistor R_{34} . Za běžného provozu je na něm malý úbytek napětí, rozptýlený výkon leží pod max. povolenou velikostí 125 mW (jde o typ TR 212).

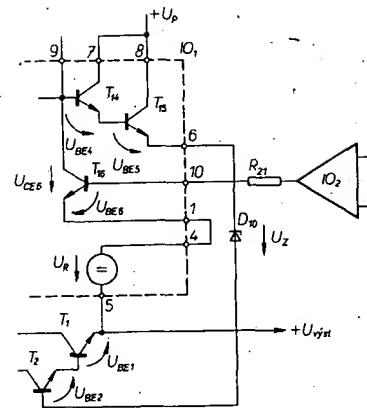
Při poruchovém stavu se proud rezistorem zvětší, povolené zatížení je podstatně překročeno a proto se rezistor přeruší – přehoří. Tím je naplněna funkce ochrany – nepoškodí se další (podstatně hodnotnější) prvky a obvody, v tomto případě síťový transformátor.

Protože výrobce ovládacích potenciometrů nezaručuje požadovanou elektrickou pevnost 2 kV, musí být tyto prvky uchyceny izolovaně od kostry přístroje. Podobně připevnění regulačního tranzistoru T_1 k chladiči musí splnit protichůdné požadavky – schopnost rozptýlit velký ztrátový výkon a přitom tranzistor musí být uchycen k chladiči s izolací vyhovující zkoušce napětím 2 kV. Toho je dosaženo použitím speciálních konstrukčních prvků a izolačních hmot.

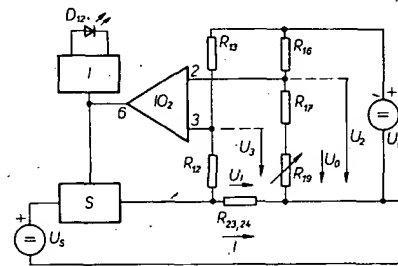
Výkonový tranzistor není řízen přímo z IO_1 , ale pomocí tranzistoru T_2 . Zapojení zmenšuje nebezpečí poškození T_1 i IO_1 a současně zlepšuje tepelné poměry IO_1 (menší ztrátový výkon). Zjednodušené zapojení obvodu proudového omezení je na obr. 14. Principem činnosti je porovnávání napětí U_1 vzniklého průtokem výstupního proudu I přes R_{23} , R_{24} , s nastavitelným napětím U_P . Pokud bude U_1 menší než U_P , bude i vstupní napětí U_3 obvodu IO_2 menší než vstupní napětí U_2 , a proto bude na výstupu IO_2 malé napětí. Obvody stabilizátoru S pracují v běžných pracovních podmínkách, svítivá dioda D_{12} indikačního obvodu nesvítí.

V okamžiku, kdy se výstupní proud zvětší tak, že U_1 bude větší než U_P , tedy U_3 větší než U_2 , zvětší se i výstupní napětí IO_2 , stabilizátor přejde do režimu proudového omezení, dioda D_{12} se rozsvítí. Výstupní napětí zdroje se zmenší tak, aby obvodem protékal proud, který způsobí, že napětí na obou vstupech IO_2 budou shodná.

Funkci obvodu stabilizátoru v režimu proudového omezení vysvětlíme na obr. 15. Zvětší-li se napětí na výstupu IO_2 nad velikost $U_R + U_{BE1}$, tranzistor T_1 se otevře a napětí na vývodu 9 se zmenšuje. Stejně se zmenšuje i napětí U_6 na výstupu 6 obvodu IO_1 (je menší o $U_{BE4} + U_{BE5}$ než na vývodu 9). Protože se však nemůže zmen-



Obr. 14. Zjednodušené zapojení obvodů proudového omezení zdroje BK 127



Obr. 15. Zapojení obvodů proudového omezení a integrovaného obvodu MAA723 ve stabilizovaném zdroji BK 127

šit na méně než $U_{Bmin} = U_R + U_{CE6} - U_{BE4} - U_{BE5}$, tj. $U_{Bmin} \approx 7 + 0,3 - 0,65 - 0,65 = 6$ V, je do obvodu zařazena Zenerova dioda D_{10} . Zmenší-li se napětí U_6 pod velikost $U_Z + U_{BE1} + U_{BE2}$, přestává téci proud do báze T_2 ; T_2 i T_1 se uzavírají.

Nastavovací prvky – trimr R_{25} a rezistor R_{27} – jsou určeny pro nastavení proudového a R_{28} napěťového rozsahu měřidla. Trimrem R_7 se nastavuje maximální výstupní napětí a R_{14} , R_{15} , R_{36} maximální výstupní proud stabilizovaného zdroje. Odpor R_{18} vymezuje minimální nastavitelný proud elektrické pojistky. Pokud jej vyřadíme nebo zmenšíme, dosáhneme toho, že levý doraz potenciometru bude odpovídat nulovému povolenému výstupnímu proudu. To sice znamená napoprvé poněkud překvapující stav – zdroj může mít ve funkci elektronickou pojistku, aniž by k němu byla připojena zátěž. Výstupní napětí je přitom nulové bez ohledu na polohu potenciometru „nastavení napětí“. Stav je však bezpečně indikován svitem diody D_{12} , takže je obsluha upozorněna, že má mírně pootočit potenciometrem „nastavení proudu“. Výhodou této úpravy je možnost nastavovat i malé velikosti proudového omezení, např. desítky mA. A také možnost „vypínat a zapínat“ výstupní napětí vždy s náběhem na původně nastavenou velikost prostým pootočením potenciometru „nastavení proudu“.

Příklad změřených parametrů BK 127

Tak, jako u ostatních přístrojů, uvedeme některé zajímavější údaje, změřené na jednom kusu BK 127. Omezení výstupního proudu (specifikaci 100 mA až 1 A) bylo možno nastavit od 25 mA do 1,19 A. Časová stabilita výstupního napětí po dvaceti minutách po zapnutí byla $2 \cdot 10^{-3}/20$ minut pro 5 V/1 A. Stabilita výstupního napětí při změnách napětí sítě ± 10 % je při max. proudu 1 A a napětí 5 a 20 V 4 až $6 \cdot 10^{-4}$. Nestabilita při změně proudu z nuly na 1 A při napětí 20 V, 5 V a 1 V je 10 až 20 mV. Vzniklá a šum výstupního napětí je 6 mV.